

**ÉTUDE DE LA NAPPE DU PLIO-QUATÉNAIRE
DE LA TERRASSE DE HAGUENAU-RIEDELZ :
DE LA SYNTHÈSE DES DONNÉES À LA MODÉLISATION**



Ecole Nationale Supérieure de Géologie
Rue du Doyen Marcel Roubault
54501 VANDŒUVRE LES NANCY



APRONA
140 rue du Logelbach
68000 COLMAR

ETUDE SUR LA NAPPE DU PLIO-QUATÉNAIRE DE LA TERRASSE DE HAGUENAU-RIEDELSELTZ

L'objectif de ce travail a été de réaliser une étude approfondie sur la nappe d'eau souterraine de l'aquifère des sables pliocènes et quaternaires à partir de données d'archives, et de compléter et actualiser la carte piézométrique avant la mise en place d'un modèle hydrodynamique. L'étude a porté sur un secteur du département du Bas-Rhin s'étendant d'une dizaine de kilomètres autour de Haguenau et jusqu'aux frontières allemandes au Nord et à l'Est. Elle a pour but la mise en place d'un réseau de suivi piézométrique de la nappe.

Cette étude s'est articulée en plusieurs phases :

- Une première phase comprenant une synthèse bibliographique à partir de données d'archives du BRGM et de l'Agence de l'Eau et du site Internet Infoterre : coupes techniques de forage, coupes géologiques et hydrogéologiques, carte d'épaisseur et de la profondeur des formations aquifères.
- Une deuxième phase consistant en une interprétation ou réinterprétation des données recueillies de manière à compléter ou actualiser la structure géologique de l'aquifère Pliocène et réaliser des coupes géologiques afin de mieux visualiser les particularités du secteur étudié. Cette phase a été réalisée à l'aide du logiciel Mapinfo.
- Une troisième phase permettant la constitution d'une carte piézométrique d'après le choix d'une trentaine d'ouvrages existants de référence et réalisation d'une campagne de mesure du niveau piézométrique dans ces ouvrages.
- Une quatrième phase aboutissant à la construction d'un modèle hydrodynamique simplifié en régime permanent à l'aide du logiciel Visual Modflow.
- Une cinquième phase a consisté à sélectionner, parmi les ouvrages définis dans la troisième phase, les ouvrages pertinents pour le suivi ultérieur de la nappe. Au cours de cette phase les piézomètres à créer ont été localisés.

Mots-clés : hydrogéologie – terrasse de Haguenau – nappe du Pliocène – coupe géologique – réseau piézométrique – isobathes – Oligocène – BSS – argile – sable – loess

Caractéristiques : 1 volume - 107 pages - 14 annexes – 40 références bibliographiques

Date de publication : Février 2013

TABLE DES MATIERES

I.	Introduction.....	7
II.	Description de la zone d'étude	8
II.1.	Délimitation de la nappe étudiée.....	8
II.2.	Contexte géologique	9
II.2.1.	Les formations du Tertiaire	9
II.2.2.	Les formations du Quaternaire	10
II.3.	Contexte tectonique.....	11
II.4.	Contexte hydrogéologique et hydrologique	12
II.4.1.	Caractéristiques hydrogéologiques de l'aquifère Plio-Quaternaire.....	12
II.4.1.	Relations nappe-rivière et inter-nappes	14
II.4.2.	Une zone particulière : le Nord-Ouest du secteur	14
III.	Interprétation et discussion des données collectées.....	15
III.1.	Carte du toit des marnes oligocènes.....	15
III.1.1.	Méthode générale de tracé des isobathes.....	15
III.1.2.	Carte interprétée du toit des marnes oligocènes	15
III.1.3.	Discussions sur les tracés	18
III.2.	Carte des iso-épaisseurs du Plio-Quaternaire	18
III.2.1.	Méthode générale du tracé des iso-épaisseurs	18
III.2.2.	Carte interprétée de l'épaisseur du plio-quaternaire	19
III.2.3.	Couverture loessique et caractéristiques particulières	19
III.2.1.	Discussion sur les tracés.....	20
III.3.	Carte piézométrique de synthèse des données d'archives.....	23
IV.	Piézométrie.....	24
IV.1.	Objectifs	24
IV.2.	Découpage de la zone en entités	24
IV.3.	Choix des ouvrages.....	25
IV.4.	Reconnaissance sur le terrain	25
IV.4.1.	Ouvrages de la BSS	25
IV.4.2.	Caractéristiques des cours d'eau.....	25
IV.5.	Mise en œuvre de la campagne piézométrique.....	26
IV.6.	Traitement des données de la campagne piézométrique.....	26
V.	Modélisation hydrodynamique en régime permanent.....	29
V.1.	Objectifs	29

V.2.	Logiciel utilisé	29
V.3.	Description du modèle	29
V.4.	Structure et géométrie du modèle.....	29
V.5.	Conditions aux limites et charges initiales	30
V.6.	Conductivité hydraulique	30
V.7.	Termes sources.....	30
V.7.1.	Echanges nappe-rivière	30
V.7.2.	Recharge.....	30
V.7.3.	Puits de pompage.....	30
V.8.	Calage du modèle.....	31
V.8.1.	Adaptations du maillage.....	31
V.8.2.	Zones de perméabilité et de recharge	31
V.8.3.	Carte piézométrique simulée	32
V.9.	Etude de sensibilité	33
V.10.	Bilans et résultats de simulation	34
V.10.1.	Bilan des flux.....	34
V.10.2.	Analyse des charges calculées.....	36
V.11.	Limites du modèle	37
VI.	Optimisation du réseau piézométrique	38
VI.1.1.	Objectifs.....	38
VI.1.2.	Scénario 1	38
VI.1.3.	Scénario 2	39
VI.1.4.	Scénario retenu	39
VII.	Conclusion et perspectives	42
VIII.	Webographie et bibliographie.....	43
IX.	Carnet d'adresses	45

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : A gauche, délimitation de la nappe d'Alsace dans sa partie française qui s'étend sur les départements du Haut et Bas-Rhin (image tirée de données de l'Aprona en Mapinfo). A droite, zoom représentant la zone étudiée : les principales villes et forêts du secteur sont localisés et en rouge figurent les limites des nappes des alluvions rhénans et pliocènes (fond de carte IGN). Les quatre zones majeures découpant la nappe du Pliocène sont des zones d'absence de nappe du Pliocène (BRGM Alsace)..... 8

Figure 2 : A gauche, carte géologique de la zone étudiée. Les formations rencontrées sont sédimentaires d'âge fin Tertiaire à Quaternaire composées essentiellement d'alluvions sableuses et de loess. A droite, schéma explicatif délimitant les alluvions rencontrées dans le secteur. Sources :

carte géologique issue du site Infoterre du BRGM, schéma issu de couches Mapinfo du BRGM de 2009, informations sur la ressource datant de 2008.	9
Figure 3 : Schéma structural localisant la couverture loessique de la plaine d'Alsace du Nord. Dans le secteur étudié, les loëss sont localisés entre la Moder et la Zorn, et entre la Sauer et la Lauter. Les cônes alluviaux des rivières vosgiennes ainsi que les failles majeures sont représentées. Source : URBAN S., BOUCHER J., MARDHEL V., XU D., 2010.	10
Figure 4 : Log stratigraphique général des formations rencontrées dans la zone d'étude. Description réalisée à partir des différentes sources d'information issues des archives et des coupes techniques des forages sur la base de données Internet Infoterre du BRGM.	11
Figure 5 : Coupe schématique d'un cours d'eau actuel se superposant à une vallée fossile creusant les marnes de l'Oligocène. La nappe est drainée par la vallée fossile par la présence d'anciennes alluvions grossières de cônes d'épandage favorisant l'écoulement. Source : DE BAULNY H., 1966.	12
Figure 6 : Coupes schématiques simplifiées des formations aquifères rencontrées. Suivant la zone du secteur, il existe une couche argileuse plus ou moins continue séparant les formations du Pliocène (Tertiaire) et du Quaternaire. L'aquifère Pliocène présente également des lentilles argileuses plus nombreuses au Nord et à l'Est du secteur. Coupes réalisées d'après une synthèse des différents documents issus des archives du BRGM de Strasbourg et de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse.	13
Figure 7 : Schéma explicatif de la surestimation de la cote du toit des marnes de l'Oligocène. Si le toit des marnes n'est pas atteint par le forage, ce dernier permet néanmoins d'estimer une cote maximale pour le mur de l'aquifère et donc une épaisseur minimale du recouvrement Plio-Quaternaire.	15
Figure 8 : Coupe longitudinale de la partie Nord. La partie droite de la coupe met en évidence la zone d'absence de nappe dit du Niederlauterbach (loëss et argiles) tandis qu'à gauche une immense cuvette a été mise en évidence par des mesures géophysiques.	16
Figure 9 : Coupe longitudinale de la partie Ouest de la forêt de Haguenau. On y distingue 4 vallées fossiles localisées au niveau des cours d'eau actuels. Il est à noter également la faible épaisseur de l'aquifère au Nord de la Moder et la présence exclusive des alluvions quaternaires au contact direct avec les marnes dans la partie Nord de la coupe.	17
Figure 10 : Coupe transversale au Nord du secteur. On distingue le fossé de bordure mis en évidence par l'étude Bienwald de 2001 et la structure de la terrasse de Mothern à l'Est.	17
Figure 11 : Schéma explicatif du tracé des isoépaisseurs du Plioquaternaire. Le tracé se base sur les isobathes du toit des marnes de l'Oligocène et les lignes de niveau topographiques. En effectuant la différence entre la cote topographique et la cote des marnes à chacune des intersections entre ces deux types de ligne, il est possible d'en déduire l'épaisseur du Plioquaternaire.	18
Figure 12 : Coupe transversale au centre du secteur. On distingue la cuvette formée par le mur de l'aquifère et la couche argileuse interprétée de manière continue à l'Est et subdivisant potentiellement la nappe en deux.	19
Figure 13 : Coupe longitudinale au centre de la forêt de Haguenau. La partie Sud de cette coupe montre que l'épaisseur et les lithologies rencontrées n'empêchent pas la nappe de s'écouler, les conclusions de Monsieur ELSASS seraient peut-être à rediscuter.	20
Figure 14 : Découpage des couches aquifères en unités hydrogéologiques homogènes. On y distingue 9 caractéristiques hydrogéologiques différentes réparties en 14 zones. Les ouvrages restants à l'issue du tri, qui a éliminé les ouvrages remblayés ou pétroliers, sont figurés par des points gris. Les 29 points verts représentent l'emplacement de piézomètres fictifs idéalement placés pour le suivi quantitatif de la nappe.	24

Figure 16 : Répartitions des zones de recharges (mm/an) et de perméabilités (m/s). A gauche, la recharge moyenne sur le secteur est de 70 mm/an. A droite, la carte des perméabilités indique que celle-ci varie de $7.5.10^{-6}$ m/s sous les loëss et dans les zones argileuses, et jusqu'à $7.4.10^{-4}$ m/s dans la zone des alluvions rhénanes (zone bleue)..... 32

Figure 17 : Carte piézométrique simulée. Les puits de pompage et les ouvrages de la campagne piézométrique figurent sur la carte. Un dôme piézométrique dû à une butte formée par les marnes ainsi que le fort drainage par la Moder sont à remarquer. Agrandissement disponible en annexe 13. 33

Figure 18 : Diagramme en secteurs des flux entrants et sortants du modèle (en L/s). Le bilan est équilibré et montre l'influence pour 2/3 de la recharge dans les flux entrants, et des rivières pour les flux sortants..... 34

Figure 19 : Bilan des flux entrants (flèches bleues) et sortants (flèches vertes) par zones de bordure. La bordure Ouest participe en grande partie au flux entrant. Les exutoires principaux de la nappe sont la partie Sud-Est du modèle. La bordure Ouest constitue aussi un exutoire non négligeable ce qui est incohérent avec le sens d'écoulement global. Cette particularité s'explique par la faible épaisseur de l'aquifère couplé à la butte formée par le toit des marnes dans la partie Sud-Ouest..... 35

Figure 20 : Diagramme de dispersion (charges hydrauliques calculées en fonction de celles mesurées sur le terrain). Les points difficiles à caler sont localisés en deux endroits : Nord-Est, partie Ouest du sud de la Moder 36

TABLE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : Extrait du tableau de synthèse des archives..... 47

ANNEXE 2 : Carte géologique du secteur 48

ANNEXE 3 : Fossé de bordure de la forêt de Bienwald 49

ANNEXE 4 : Coupe hydrogéologique dans la zone d'étude Bienwald..... 50

ANNEXE 5 : Carte de la profondeur de la base du Quaternaire et de l'épaisseur des argiles..... **Erreur ! Signet non défini.**

ANNEXE 6 : Cartes et notices détaillées 53

ANNEXE 7 : Coupes géologiques et notices détaillées 65

ANNEXE 8 : Ouvrages visités pour la campagne de reconnaissance..... 85

ANNEXE 9 : Réseau des ouvrages de la campagne piézométrique 89

ANNEXE 10 : Carte piézométrique de septembre 1991..... 94

ANNEXE 11 : Carte interpolée sur la totalité du secteur du toit des marnes..... 97

ANNEXE 12 : Localisation des puits de pompage pour l'alimentation en eau potable..... 89

ANNEXE 13 : Carte piézométrique simulée et tableau récapitulatif des points de contrôle..... 90

ANNEXE 14 : Débordements et mailles sèches 94

ANNEXE 15 : Scénario 1..... **Erreur ! Signet non défini.**

ANNEXE 16 : Scénario 2..... **Erreur ! Signet non défini.**

I. Introduction

La nappe phréatique de la Plaine d'Alsace occupe une vaste étendue consécutive à la formation d'un fossé d'effondrement. Elle constitue la plus grande réserve en eau souterraine d'Europe (50 milliards de m³ facilement accessibles) mais est vulnérable à tout type de pollution du fait de son caractère libre sans couche protectrice superficielle. Cette nappe transfrontalière présente un atout économique, pour l'approvisionnement en eau potable, les industries et l'irrigation, ainsi qu'écologique, pour la richesse naturelle et les zones humides appelées Rieds.

Le suivi de cette nappe est important car il permet de mieux définir la politique de protection quantitative mais aussi pour modéliser les sens et vitesses d'écoulement afin d'étudier l'impact qualitatif résultant de pollutions éventuelles sur la ressource. La densité du réseau piézométrique de suivi actuel est de 200 points environ mais peu, voire pas, de données hydrogéologiques et hydrologiques sont disponibles concernant la nappe du **Pliocène de Haguenau-Riedseltz**.

L'étude qui est l'objet de ce rapport a été effectuée dans le cadre d'un stage de fin d'études de 3^{ème} année ingénieur spécialité Ressources, Aménagement et Gestion des Eaux, de l'Ecole Nationale Supérieure de Géologie située à Vandœuvre-lès-Nancy. Il s'agit de synthétiser et d'acquérir les connaissances hydrogéologiques sur cette zone, d'en modéliser l'écoulement et de proposer un réseau d'ouvrages de suivi de la nappe. Il s'agit également de tracer une carte piézométrique actualisée. Cette étude se limite donc à la nappe contenue dans l'aquifère du Pliocène et à sa connectivité avec la nappe rhénane.

Dans un premier temps une étude bibliographique est menée pour récolter l'ensemble des informations hydrogéologiques sur le secteur, notamment le recensement des ouvrages et des coupes géologiques disponibles dans les archives du BRGM de Strasbourg ainsi qu'à l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse près de Metz. Ceci fera l'objet de la première partie de ce rapport. Après la présentation des méthodologies utilisées, une troisième partie montrera comment l'ensemble des informations recueillies a fait l'objet d'une synthèse cartographique servant de base pour les phases suivantes. Les chapitres qui suivent expliqueront la réalisation d'une campagne piézométrique pour la réactualisation de la carte piézométrique et l'élaboration d'un modèle hydrodynamique simple en régime permanent. Enfin des propositions seront formulées pour la mise en place d'un suivi piézométrique optimisé de la nappe du Plio-Quaternaire.

II. Description de la zone d'étude

II.1. Délimitation de la nappe étudiée

La nappe du Pliocène de Haguenau, étudiée dans le cadre de ce rapport, représente une partie de la nappe d'Alsace. Cette nappe est présente dans un aquifère constitué d'alluvions sableuses du Pliocène qui s'étendent sur une superficie de près de 500 km² et englobent les environs de Haguenau, situé à une trentaine de kilomètres au Nord de Strasbourg, jusqu'à la frontière allemande au Nord. Plus précisément, la limite de cette nappe s'étend de Mommenheim à Weyersheim au Sud de Haguenau, et de Wissembourg à Lauterbourg au niveau de la frontière allemande. La délimitation de cette nappe est représentée sur la **figure 1**. Quatre zones majeures d'absence de nappe (à l'intérieur de la limite de la nappe Pliocène), tracées par le BRGM (Philippe ELSASS, hydrogéologue), à partir de données de forages, découpent cette étendue.

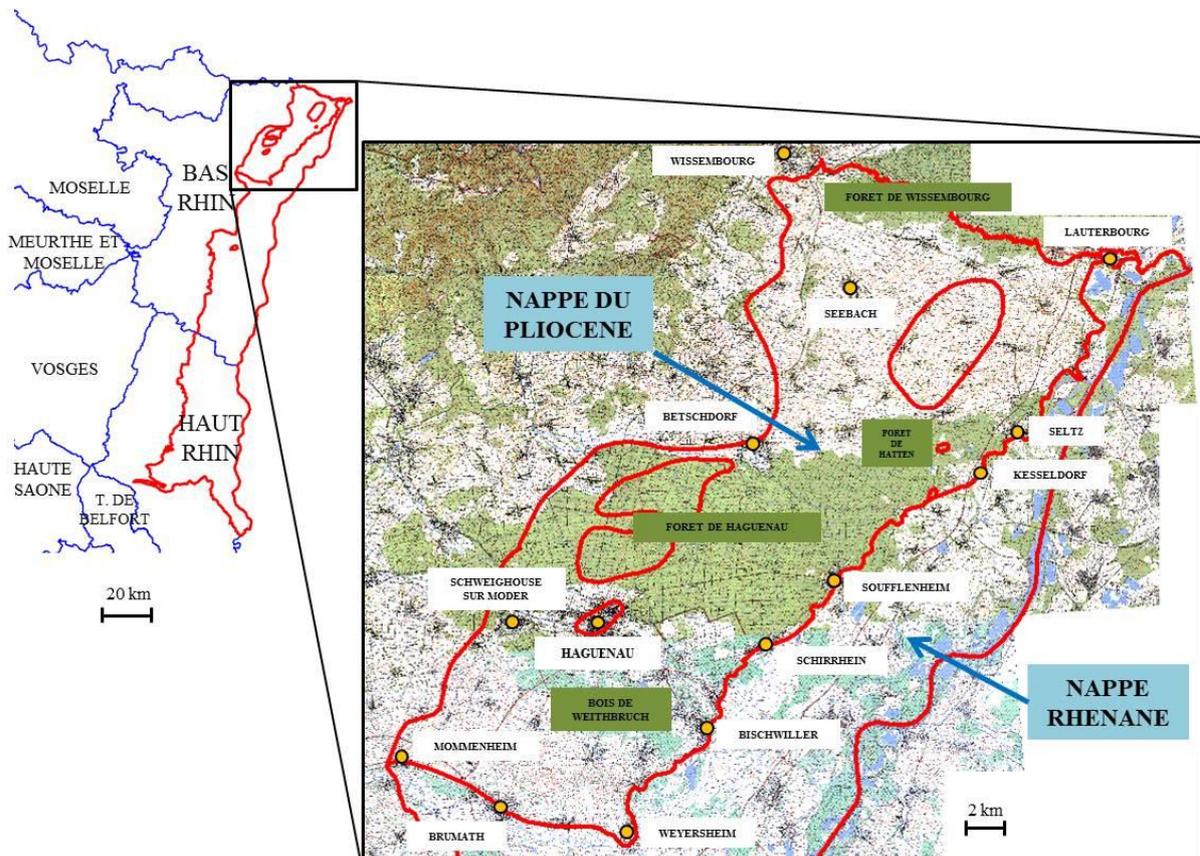


Figure 1 : A gauche, délimitation de la nappe d'Alsace dans sa partie française qui s'étend sur les départements du Haut et Bas-Rhin (image tirée de données de l'Aprona en Mapinfo). A droite, zoom représentant la zone étudiée : les principales villes et forêts du secteur sont localisées et en rouge figurent les limites des nappes des alluvions rhénans et pliocènes (fond de carte IGN). Les quatre zones majeures découpant la nappe du Pliocène sont des zones d'absence de nappe du Pliocène (BRGM Alsace)

II.2. Contexte géologique

Dans cette partie sont présentées les caractéristiques générales de la géologie du secteur. Une version plus détaillée fait l'objet de la partie interprétation au chapitre V.

Les formations géologiques rencontrées dans la zone étudiée sont toutes sédimentaires d'âge Tertiaire et Quaternaire résultantes du remplissage du fossé rhénan. On retrouve ainsi des alluvions anciennes et récentes d'origines diverses, des lèss et des lehms¹, ou encore des marnes. Ces différentes formations sont représentées sur la carte géologique **figure 2**. Un agrandissement de cette carte est disponible en **annexe 2**.

Les formations d'âge antérieur à l'Oligocène ne seront pas décrites car seule la nappe Plio-Quaternaire est considérée dans le cadre de cette étude, l'Oligocène constituera donc le mur² de cet aquifère.

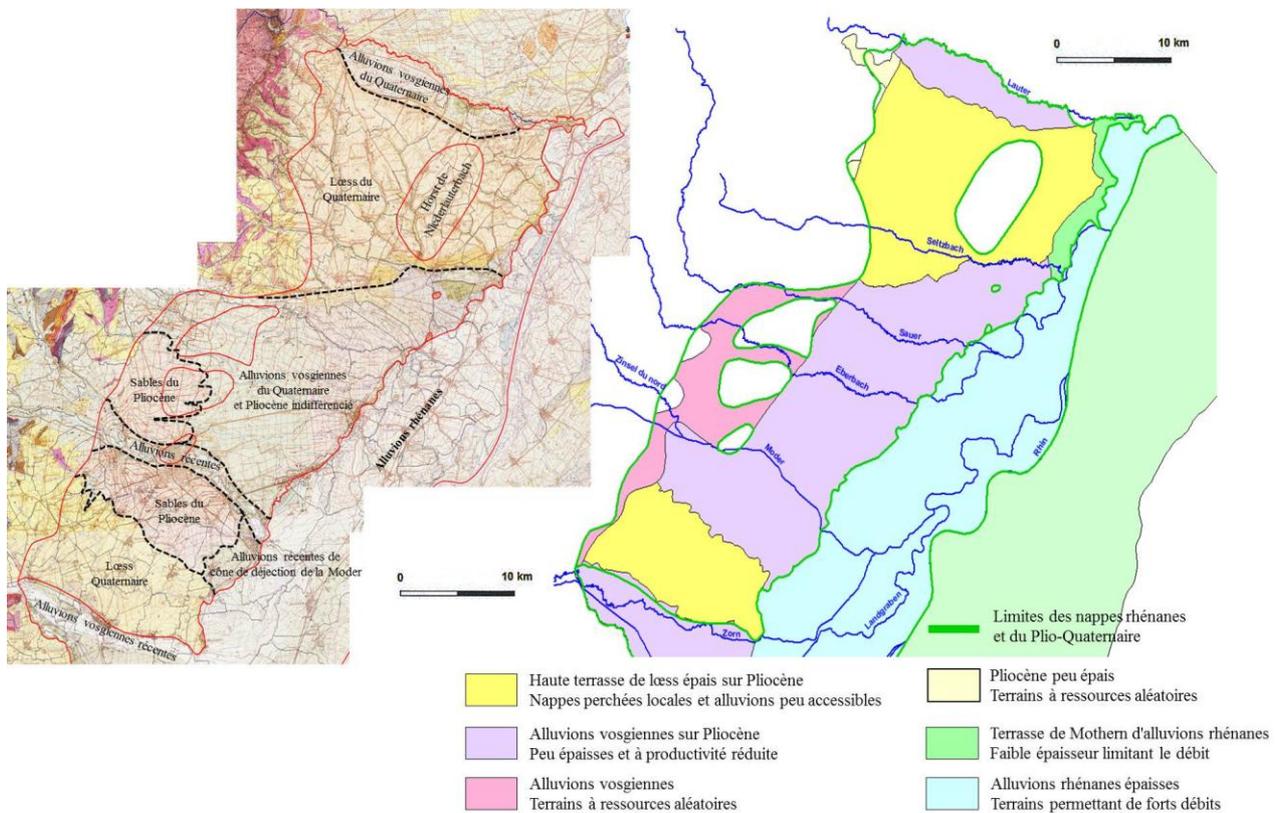


Figure 2 : A gauche, carte géologique de la zone étudiée. Les formations rencontrées sont sédimentaires d'âge fin Tertiaire à Quaternaire composées essentiellement d'alluvions sableuses et de lèss. A droite, schéma explicatif délimitant les alluvions rencontrées dans le secteur. Sources : carte géologique issue du site Infoterre du BRGM, schéma issu de couches Mapinfo du BRGM de 2009, informations sur la ressource datant de 2008.

II.2.1. Les formations du Tertiaire

Les formations d'âge Oligocène sont constituées de marnes qui présentent des traces caractéristiques de ravinement signe d'une émergence. Les dépôts d'âges Miocène et Pliocène inférieur

¹ Lehm : partie lessivée et décalcifiée plus argileuse et plus foncée des lèss

² Mur d'un aquifère : couche imperméable constituant le substratum c'est-à-dire la base d'un aquifère

sont manquants dans la série stratigraphique, l'émersion s'est donc déroulée après une phase de comblement du fossé rhénan, qui a ensuite été érodée avant le dépôt du Pliocène supérieur.

Les formations sableuses du Pliocène présentent de nombreuses lentilles argileuses témoignant du passé fluvio-lacustre des alluvions du Pliocène et d'une structure anastomosée complexe. Ces passées argileuses, très variables spatialement, peuvent résulter d'une vaste zone d'épandage des rivières vosgiennes où l'énergie de transport diminue à mesure que l'on s'éloigne des Vosges.

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 G., UNGEMACH P., 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.

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 grises. Cet aspect décoloré est dû à la perte d'une grande partie du fer des sables rouges vosgiens dont elles sont issues (H. DE BAULNY, 1966).

II.2.2. Les formations du Quaternaire

Les alluvions du Pliocène sont le plus souvent recouvertes par des formations du Quaternaire, lœssiques ou sableuses, provenant en grande partie du remaniement des sables du Pliocène par les cours d'eau et les phénomènes de ruissellement (H. DE BAULNY, 1966). Les lœss sont essentiellement localisés dans les parties Nord et Sud du secteur, tandis que les alluvions des cônes de déjection des rivières vosgiennes se situent au centre et à l'extrême nord du secteur. Au Nord-Est du secteur, des matériaux rhénans recouverts de lœss récent et recouvrant les sables pliocènes forment la terrasse de Mothern (**figure 2**). La répartition des lœss est représentée sur la **figure 3**.

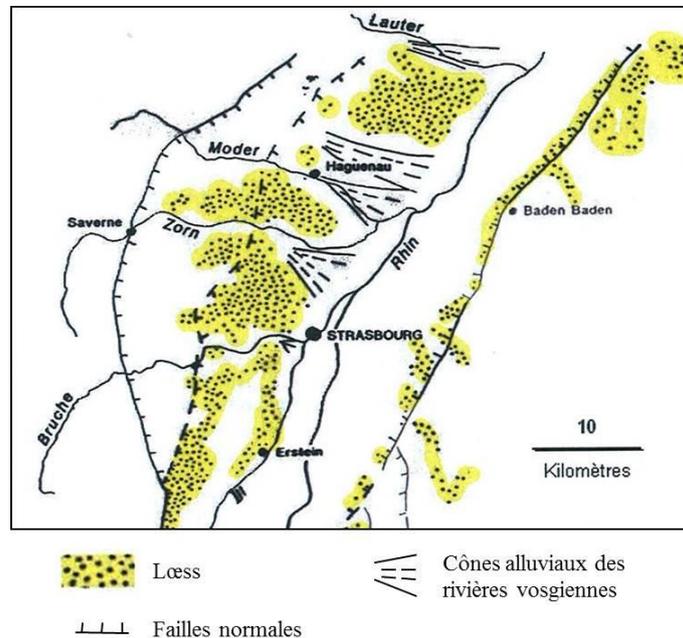


Figure 3 : Schéma structural localisant la couverture lœssique de la plaine d'Alsace du Nord. Dans le secteur étudié, les lœss sont localisés entre la Moder et la Zorn, et entre la Sauer et la Lauter. Les cônes alluviaux des rivières vosgiennes ainsi que les failles majeures sont représentées. Source : URBAN S., BOUCHER J., MARDHEL V., XU D., 2010.

Outre les loëss et les lehms, les formations du Quaternaire sont constituées de sables à graviers siliceux plus ou moins grossiers, mais plus fins et plus riches en minéraux argileux que les alluvions pliocènes. Elles présentent aussi un aspect plus rouge que les sables du Pliocène, sauf dans les sous-sols forestiers acides où les sables rouges du Quaternaire perdent leur pigment ferrugineux et tendent à ressembler aux sables du Pliocène (H. DE BAULNY, 1966).

La lithologie et la stratigraphie des formations rencontrées dans le secteur sont décrites dans la **figure 4** suivante.

PERIODE	EPOQUE	AGE (Ma)	LITHOLOGIE
QUATÉNAIRE	HOLOCENE	0,01	Alluvions récentes des rivières vosgiennes formées de sables fins roses, beiges, gris ou jaunes jusqu'à graviers. Il s'agit des sables des cônes de déjection de La Moder et de la Sauer ainsi que des cailloutis et sables de la Zorn.
	PLEISTOCENE		Loëss et lehm parfois indifférencié avec les sables du Pliocène quelquefois conglomératiques au Sud d'une ligne Ouest-Est passant par Haguenau et au Nord de la forêt de Haguenau jusqu'à la frontière allemande au Nord. Alluvions anciennes des périodes glaciaires Riss ou Würm formées de sables moyens à grossiers souvent indifférenciés avec les sables du Pliocène plus ou moins décolorés avec intercalaire argileux de plusieurs mètres d'épaisseur au Nord du secteur dans la forêt de Wissembourg .
TERTIAIRE	PLIOCENE	1,8	Sables gris, gris clair à beige-rosé à granoclassement positif, parfois conglomératique à la base de la formation. Sables plus ou moins argileux et nombreuses passées argileuses à l'Est de la forêt de Haguenau et au Sud entre Mommenheim et Brumath. Intercalation argileuse et limoneuse, de plusieurs mètres d'épaisseur, riche en matière organique dans la forêt de Wissembourg.
	MIOCENE - OLIGOCENE	5,3 34	Marnes grises à gris bleutées plus ou moins micacées parfois à passées gréseuses

Figure 4 : Log stratigraphique général des formations rencontrées dans la zone d'étude. Description réalisée à partir des différentes sources d'information issues des archives et des coupes techniques des forages sur la base de données Internet Infoterre du BRGM.

II.3. Contexte tectonique

La zone comporte de nombreuses failles, dues à l'histoire géologique du fossé rhénan, essentiellement orientées du Sud-Ouest au Nord-Est. Elles se retrouvent essentiellement au Nord et au Sud-Ouest du secteur où la faille rhénane constitue la limite de la nappe Pliocène aux environs de Mommenheim.

Au Nord du secteur, un faisceau de failles parallèles orientées SW-NE sépare le socle Vosgien du fossé rhénan. Par plusieurs jeux de failles un horst³ s'est mis en place plus à l'Est de ce champ de fractures formant ainsi entre ces deux blocs soulevés un fossé de bordure de plus de 20 km de longueur, limité au Sud par une faille normale orientée parallèlement à la faille de Pechelbronn (BROST E. et al., 2001). La surface de base de ce fossé de bordure s'abaisse progressivement vers le Sud en marches d'escaliers par des failles transversales (**annexe 3**).

Les caractéristiques de ces failles et notamment les couches qu'elles affectent, sont le plus souvent peu détaillées, excepté dans la partie Nord concernée par l'étude sur la forêt de Bienwald (BROST E. et al., 2001).

II.4. Contexte hydrogéologique et hydrologique

II.4.1. Caractéristiques hydrogéologiques de l'aquifère Plio-Quaternaire

Dans cette partie sont présentées les caractéristiques générales sur l'hydrogéologie du secteur. Une version plus détaillée fait l'objet de la partie interprétation au chapitre III.

Les sables du Pliocène étant parfois indifférenciés avec ceux du Quaternaire, les couches formées par le Quaternaire et le Pliocène pourront constituer un seul et unique aquifère. Il est donc plus juste de parler de la nappe du Plio-Quaternaire plutôt que du Pliocène uniquement. Seules quelques zones du secteur pourront faire l'objet d'une distinction nette entre les deux aquifères.

Le mur de la nappe du Plio-Quaternaire est constitué sur la totalité du secteur par les marnes de l'Oligocène. A cause de la présence de passées argileuses plus continues, l'aquifère se divise en trois dans le Nord, entre Wissembourg et Salmbach, et en deux à l'Est du secteur, au niveau de Soufflenheim à l'extrême Est de la forêt de Haguenau (MOREL G., UNGEMACH P., 1971).

Il existe des surcreusements de ce substratum marneux formant des vallées fossiles (MILLOT G., 1960) que l'on peut retrouver sous les lits actuels des rivières. 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. Aucune connexion hydraulique n'existe entre le lit actuel des rivières et les vallées fossiles dont elles suivent le tracé (**figure 5**). Cependant, ce sont les alluvions plus grossières des cônes d'épandages de ces rivières fossiles qui ont guidé préférentiellement l'écoulement des cours d'eau actuels. Ces vallées fossiles ont un impact non négligeable sur la transmissivité de la nappe qui y est plus importante dans ces zones.

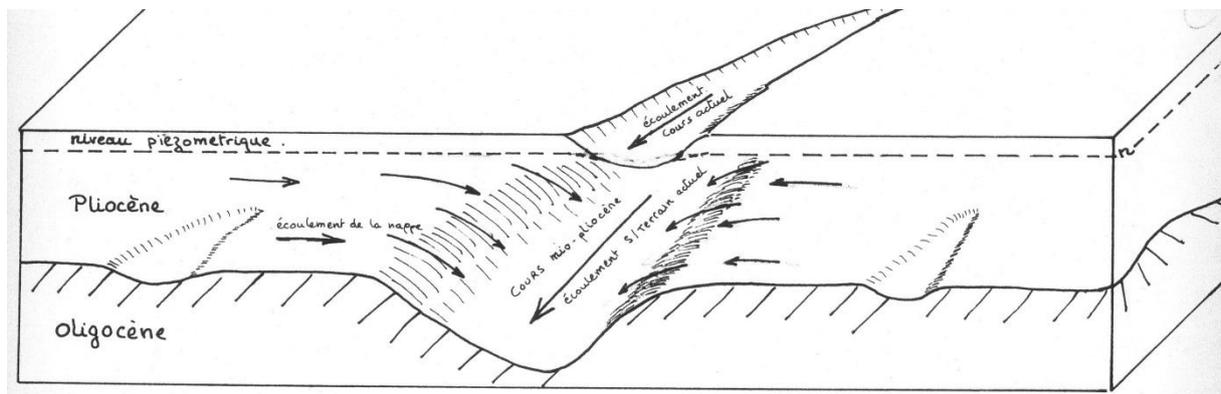


Figure 5 : Coupe schématique d'un cours d'eau actuel se superposant à une vallée fossile creusant les marnes de l'Oligocène. La nappe est drainée par la vallée fossile par la présence d'anciennes alluvions grossières de cônes d'épandage favorisant l'écoulement. Source : DE BAULNY H., 1966.

³ Horst : compartiment de terrain soulevé par un jeu de failles. Il est associé à des fossés effondrés appelés graben

La nappe présente un aspect libre à semi-captif voire captif localement, notamment au Nord du secteur. Elle est sub-affleurante au centre du secteur dans la zone de la forêt de Haguenau. Elle est semi-captive à l'Est du secteur entre Soufflenheim et Seltz et dans l'aquifère intermédiaire du Nord, captive dans l'aquifère profond du fossé de bordure du Nord du secteur. La couverture de limons lœssiques au Sud de Haguenau peut aussi potentiellement retenir une nappe superficielle (BABOT Y., KREBS G., 1982). Une succession schématique simplifiée des couches aquifères est représentée en **figure 6**.

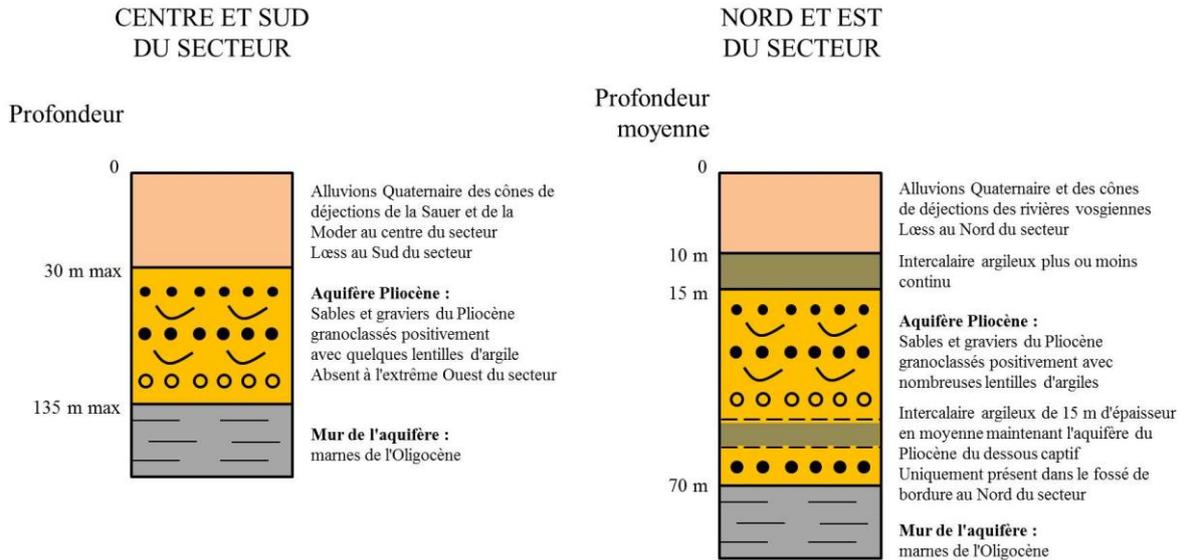


Figure 6 : Coupes schématiques simplifiées des formations aquifères rencontrées. Suivant la zone du secteur, il existe une couche argileuse plus ou moins continue séparant les formations du Pliocène (Tertiaire) et du Quaternaire. L'aquifère Pliocène présente également des lentilles argileuses plus nombreuses au Nord et à l'Est du secteur. Coupes réalisées d'après une synthèse des différents documents issus des archives du BRGM de Strasbourg et de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse.

Globalement la nappe du Plio-Quaternaire s'écoule d'Ouest en Est avec une pente moyenne de 4‰ sauf au voisinage de la Moder encombrée d'alluvions du Quaternaire où le gradient hydraulique atteint 5‰ (H. DE BAULNY, 1966). Le gradient hydraulique de la nappe va de 1,5 ‰ en aval de la Moder et au Nord de la forêt de Haguenau à 15 ‰ au Sud et Sud-Ouest de Haguenau. La perméabilité de l'aquifère du Pliocène augmente en profondeur du fait du granoclassement positif des sables. En moyenne les alluvions pliocènes ont une perméabilité de l'ordre de 10^{-4} m/s tandis que les alluvions rhénanes ont une perméabilité de l'ordre de 10^{-3} m/s (SIMLER L., 1976).

La recharge de la nappe pliocène est influencée essentiellement par les précipitations et très localement par les apports des rivières vosgiennes et des couvertures lœssiques. Au passage entre le recouvrement lœssique et le Pliocène affleurant, l'eau ruisselant sur les lœss et en sub-surface s'infiltré dans les alluvions du Pliocène, ce qui constitue un apport supplémentaire aux précipitations (DE BAULNY H., 1966). L'apport d'eau à la nappe située sous les couvertures de lœss représente 5 % des précipitations tandis qu'aux zones d'affleurement du Pliocène, la recharge atteint 20 % des précipitations (BABOT Y., KREBS G., 1982). Une moyenne sur 35 années de mesures pluviométriques dans la région de Haguenau établit que la pluie efficace⁴ représente 220 mm/an (KREBS G., 1991). Cette valeur peut descendre à 40 mm/an en période estivale dans le fossé rhéna (LUBW, juillet 2006).

Le battement de la nappe pliocène est dans sa globalité de moins grande importance que dans les alluvions de la nappe rhénane. Dans la nappe 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. La nappe pliocène atteint son régime de hautes eaux en mars-avril et son régime de basses-eaux en octobre (SIMLER L., 1976).

⁴ Pluie efficace : fraction de la pluie précipitée qui participe à la recharge de la nappe d'eau souterraine

II.4.1. Relations nappe-rivière et inter-nappes

Le réseau hydrologique de la zone étudiée est constitué de quatre cours d'eau principaux qui sont du Nord au Sud, la Lauter, la Sauer, la Moder et la Zorn. Des données piézométriques des archives ont montré que, la Sauer, la Moder ainsi que la rivière Eberbach, située entre la Moder et la Sauer, drainent la nappe et ce quel que soit la saison, contrairement à la nappe des alluvions rhénanes qui est alimentée par le Rhin (MOREL G., UNGEMACH P., 1971). De multiples rivières vosgiennes parcourent le secteur mais n'influencent pas le niveau de la nappe pliocène. La Zorn et la Moder sont susceptibles d'alimenter la nappe pliocène en aval de Haguenau lors de leur régime de crue qui s'étend d'octobre à mars (Notice de la carte géologique de Brumath, 1970).

La nappe rhénane est en continuité avec la nappe phréatique de la basse terrasse de la Mothern au Nord-Est du secteur mais elle est en discordance avec la nappe Pliocène de la haute terrasse de Haguenau-Riedelseltz (BIRTLER C., ELSASS P., 2006). A la transition entre les aquifères pliocène et rhénan, une forte perte de charge existe, le niveau de la nappe du Plio-Quaternaire est ainsi toujours supérieur à celui de la nappe rhénane (MOREL G. et UNGEMACH P., 1971). La nappe pliocène se déverse dans la nappe rhénane avec un débit calculé entre Bischwiller et Weyersheim de 102 L/s (BABOT Y., KREBS G., 1982).

II.4.2. Une zone particulière : le Nord-Ouest du secteur

Dans le Nord du secteur, on retrouve un aquifère superficiel dans les formations du Quaternaire, un aquifère intermédiaire et un profond dans les sables du Pliocène (BROST E. et al., 2001). L'aquifère profond ainsi que l'intercalaire argileux sus-jacent sont cantonnés dans le fossé de bordure, tandis que l'aquifère intermédiaire vient recouvrir les blocs soulevés à l'Est et est stoppé à l'Ouest par les blocs faillés de bordure vosgiens. Séparé par un intercalaire argileux non continu de quelques mètres d'épaisseur de l'aquifère intermédiaire, l'aquifère supérieur s'étend au-delà de la largeur du fossé de bordure. Cette structure est représentée sur la coupe hydrogéologique en **annexe 4**.

Des phénomènes de drainance ont été mis en évidence au Nord du secteur entre les nappes superficielles et profondes (BROST E., 2001). Ainsi l'eau de la nappe superficielle quaternaire s'infiltré progressivement dans la nappe pliocène sous-jacente à travers la couche argileuse formant ce qu'on appelle un aquitard, la nappe pliocène intermédiaire possède donc un caractère semi-captif. La captivité de la nappe profonde fait s'infiltrer lentement l'eau via l'intercalaire argileux dans la nappe intermédiaire.

III. Interprétation et discussion des données collectées

III.1. Carte du toit des marnes oligocènes

III.1.1. Méthode générale de tracé des isobathes

Les isobathes du toit de l'Oligocène, représentant le mur de l'aquifère Pliocène, ont été tracées à partir d'une carte de travail thématique rassemblant l'ensemble des informations sur le toit des marnes de l'Oligocène.

Dans les zones disposant uniquement de données BSS, les isobathes ont été tracées par interpolation linéaire entre les points de données proches, de sorte que leur cote soit au plus égale à la topographie. Lorsque le lien entre deux isobathes de même cote n'est pas certain ou que l'Oligocène n'a pas été atteint, les lignes ont été figurées en pointillés. Les ouvrages n'ayant pas atteint le toit des marnes ont été représentés car la cote du fond du forage permet d'avoir une idée de la cote maximale en-deçà de laquelle on peut trouver les marnes de l'Oligocène (**figure 7**). En revanche, dans les zones d'absence de données BSS, les isobathes issues de mesures géophysiques ont été reprises sans modification.

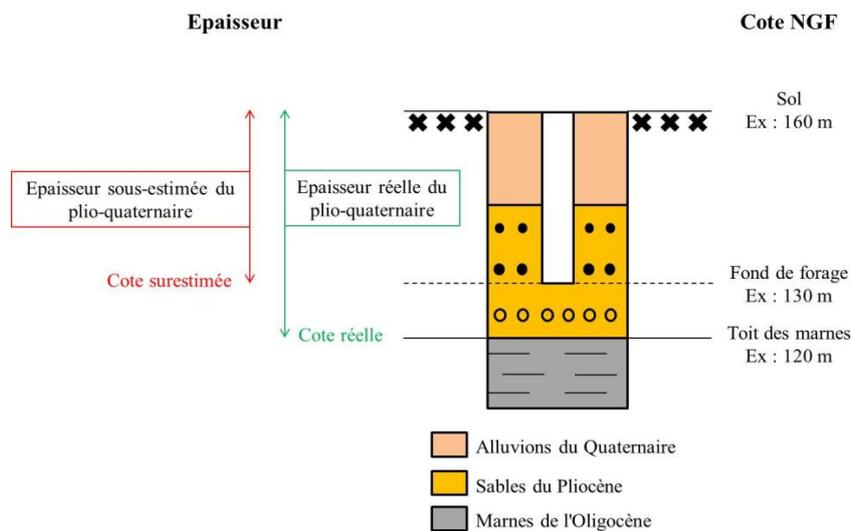


Figure 7 : Schéma explicatif de la surestimation de la cote du toit des marnes de l'Oligocène. Si le toit des marnes n'est pas atteint par le forage, ce dernier permet néanmoins d'estimer une cote maximale pour le mur de l'aquifère et donc une épaisseur minimale du recouvrement Plio-Quaternaire.

Lorsque des isobathes et des données BSS sont présentes simultanément, une réinterprétation a parfois été nécessaire de manière à adapter les anciennes données avec les données plus ou moins récentes issues des forages de la BSS. Ce mélange des données a ainsi permis de conserver des particularités observées en 1960 et 1975. En revanche, si la cote de l'Oligocène estimée d'après la profondeur des travaux est plus élevée que celle donnée par les isobathes de 1960, ces derniers n'ont pas été discutés.

III.1.2. Carte interprétée du toit des marnes oligocènes

Le paragraphe suivant présente une synthèse de l'interprétation, l'ensemble des détails figurent sur la notice explicative donnée en **annexe 6**. La carte interprétée du toit des marnes de l'Oligocène ainsi que la carte de synthèse des données d'archives sont présentées successivement aux **pages 16 et 17**. L'interprétation des coupes réalisées se base à la fois sur la lithologie interprétée des différents ouvrages de la BSS et les isobathes interprétées du toit des marnes de l'Oligocène. Les limites des formations alluvionnaires superficielles ont été tracées à partir de la carte géologique issue du site

Infoterre et de la carte des alluvions éditée par le BRGM en 2008. Les alluvions récentes des rivières n'ont pas été délimitées par manque d'information sur leur étendue et leur épaisseur. Les coupes géologiques ont été réalisées sur papier puis digitalisées grâce à l'éditeur de graphisme vectoriel Inkscape. Une exagération verticale a été nécessaire, l'aquifère considéré étant puissant d'au maximum 100 m pour un secteur faisant 15 km en moyenne en transversal et en longitudinal.

Globalement, le toit des marnes de l'Oligocène plonge vers le Sud-Est, il passe de 150 m NGF en moyenne à l'Ouest à 50 m avec une pente moyenne de 12‰. Il remonte au niveau de la zone d'absence de nappe du Niederlauterbach (coupe 6 en **figure 8**), et des deux autres zones d'absence de nappe à l'Ouest de Kesseldorf et à Soufflenheim (coupes D et E en **annexe 7**), où il marque la transition avec l'aquifère rhénan. A la limite Nord-Est, le toit des marnes semble remonter en "aiguille" pour probablement se connecter avec le horst de Büchelberg, tandis qu'à Schirrhein à la limite Est de la nappe, le toit des marnes semble former une immense fosse. Les cotes des isobathes aux limites Sud et Est de la nappe sont cohérentes avec le projet MONIT au cours duquel les isobathes du mur de l'aquifère rhénan du quaternaire avaient été tracées (LUBW, 2006).

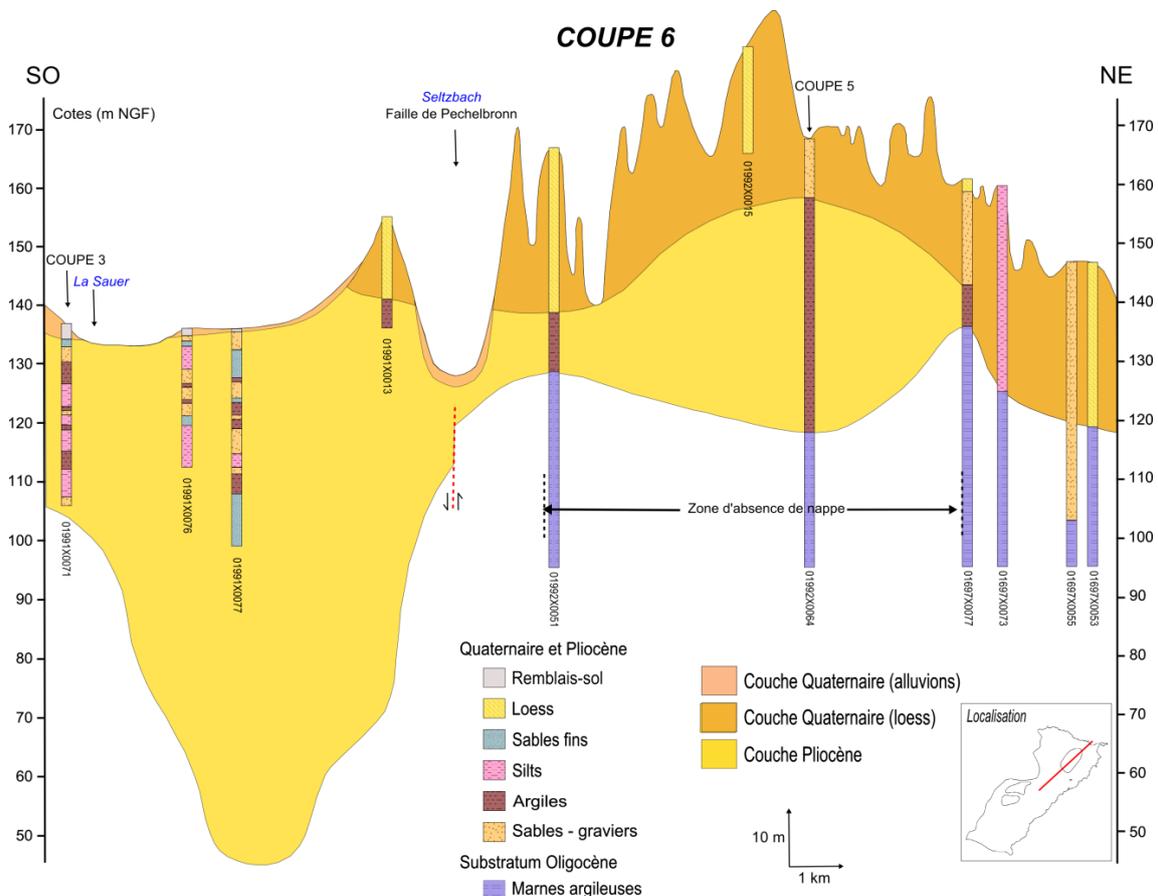


Figure 8 : Coupe longitudinale de la partie Nord. La partie droite de la coupe met en évidence la zone d'absence de nappe dit du Niederlauterbach (loess et argiles) tandis qu'à gauche une immense cuvette a été mise en évidence par des mesures géophysiques.

Le toit des marnes est affecté de nombreux surcreusements. On dénombre ainsi sur le secteur, six vallées fossiles, dont 4 sont représentées sur la coupe 2 en **figure 9**, et une dépression, atteignant la cote minimale de 40 m NGF, d'axe Nord-Sud localisée entre la Sauer et la faille de Pechelbronn (**figure 8** et coupe 3 en **annexe 7**). L'extension vers l'Ouest de ces vallées fossiles a pu être mise en évidence par l'interprétation. A l'inverse, une butte existe dans l'axe de la Moder en aval de Haguenau. La présence de ce plateau atteste que le cours de la Moder a changé contrairement aux autres cours d'eau actuels qui s'écoulent à l'aplomb de vallées fossiles (H. DE BAULNY, 1966).

Les failles situées dans les parties centre et sud du secteur n'ont pas été considérées dans l'interprétation, leurs caractéristiques étant inconnues et les données BSS ne semblent pas mettre en évidence l'influence de ces failles dans les marnes de l'Oligocène.

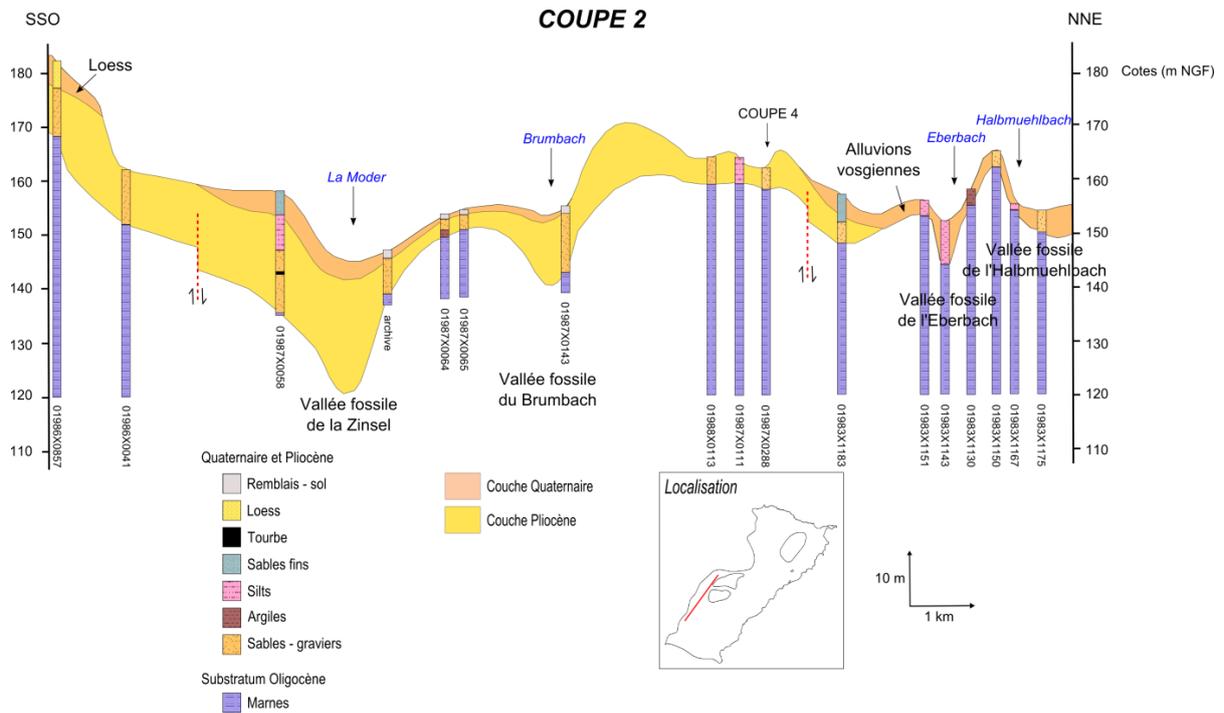


Figure 9 : Coupe longitudinale de la partie Ouest de la forêt de Haguenau. On y distingue 4 vallées fossiles localisées au niveau des cours d'eau actuels. Il est à noter également la faible épaisseur de l'aquifère au Nord de la Moder et la présence exclusive des alluvions quaternaires au contact direct avec les marnes dans la partie Nord de la coupe.

Enfin, on retrouve la structure caractéristique en marches d'escaliers du toit des marnes dans le fossé de bordure au Nord-Ouest et qui s'abaisse vers l'Est par un jeu de nombreuses failles (coupe 5 en figure 10).

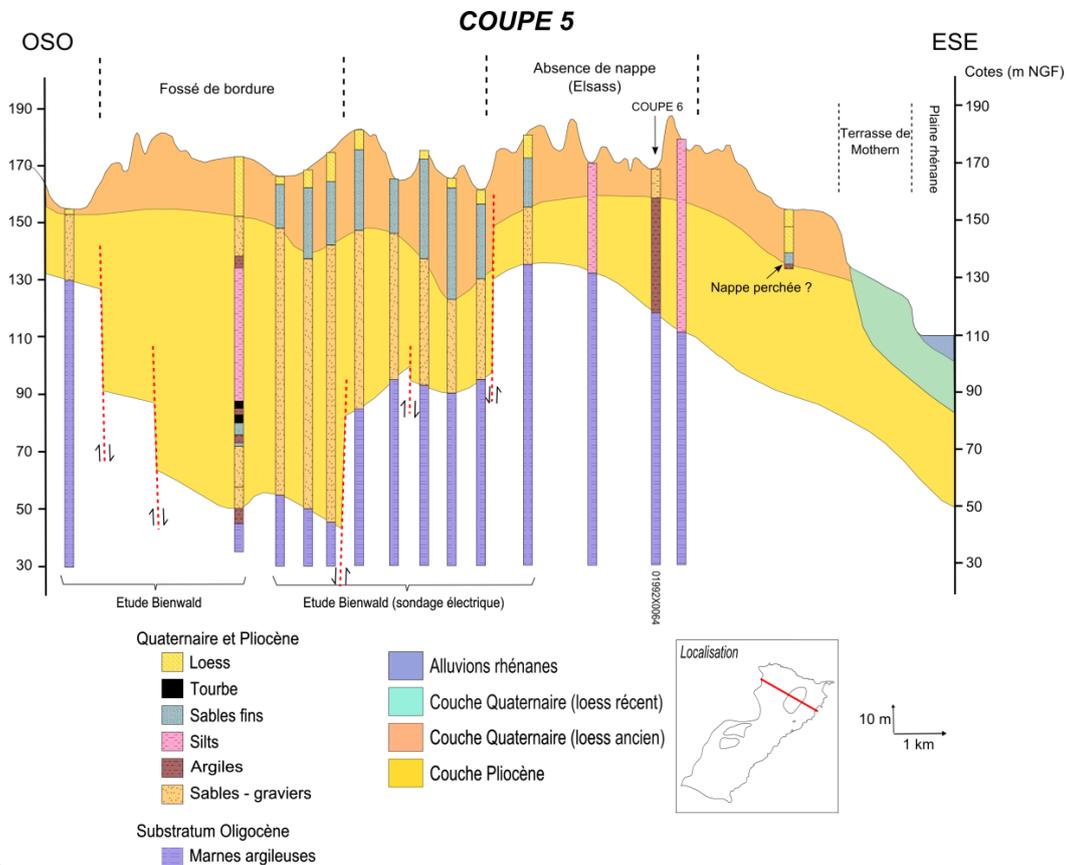
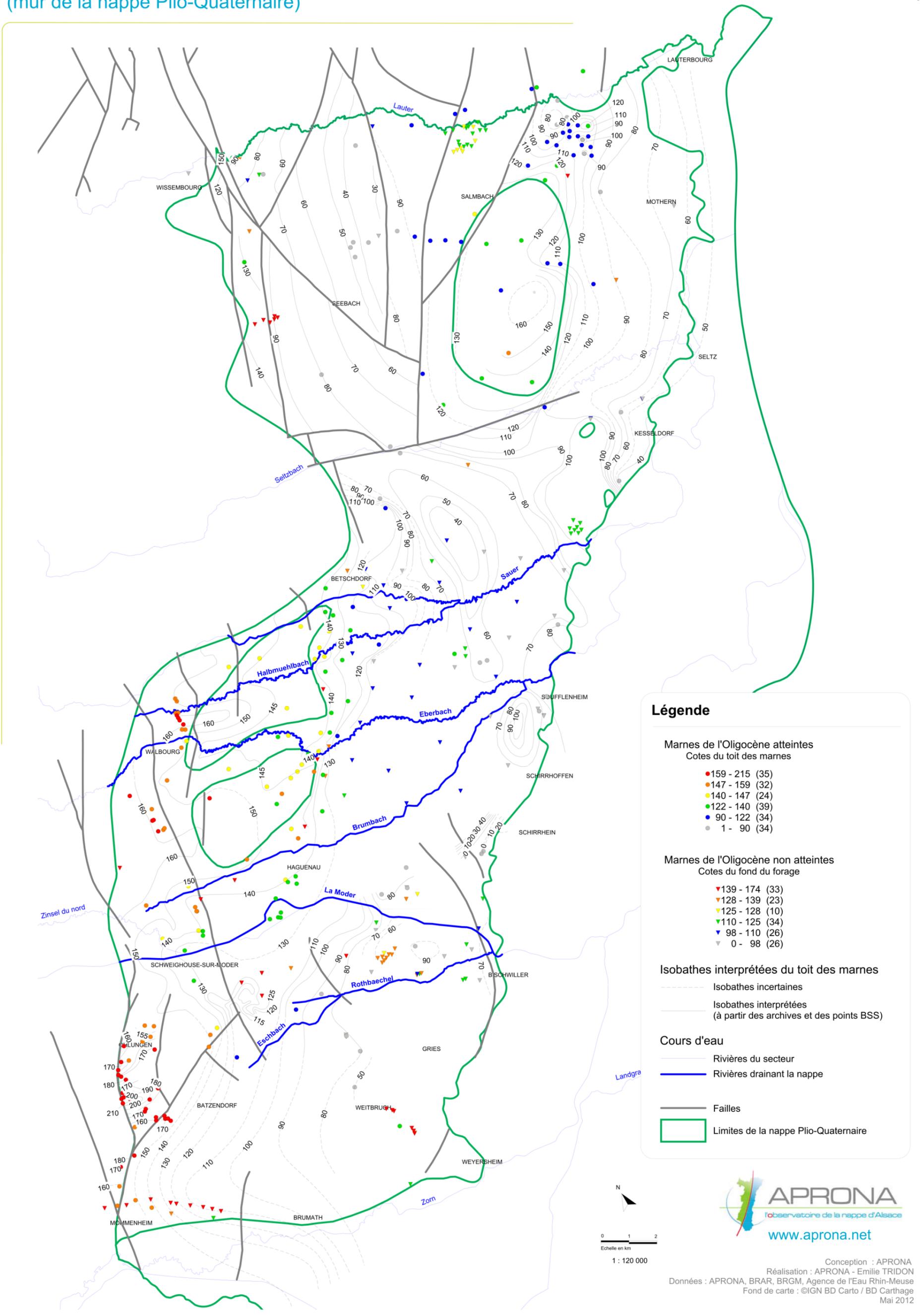


Figure 10 : Coupe transversale au Nord du secteur. On distingue le fossé de bordure mis en évidence par l'étude Bienwald de 2001 et la structure de la terrasse de Mothern à l'Est.

Carte interprétée du toit des marnes de l'Oligocène (mur de la nappe Plio-Quaternaire)



Légende

Marnes de l'Oligocène atteintes
Cotes du toit des marnes

- 159 - 215 (35)
- 147 - 159 (32)
- 140 - 147 (24)
- 122 - 140 (39)
- 90 - 122 (34)
- 1 - 90 (34)

Marnes de l'Oligocène non atteintes
Cotes du fond du forage

- ▼ 139 - 174 (33)
- ▼ 128 - 139 (23)
- ▼ 125 - 128 (10)
- ▼ 110 - 125 (34)
- ▼ 98 - 110 (26)
- ▼ 0 - 98 (26)

Isobathes interprétées du toit des marnes

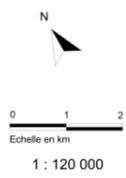
- Isobathes incertaines
- Isobathes interprétées (à partir des archives et des points BSS)

Cours d'eau

- Rivières du secteur
- Rivières drainant la nappe

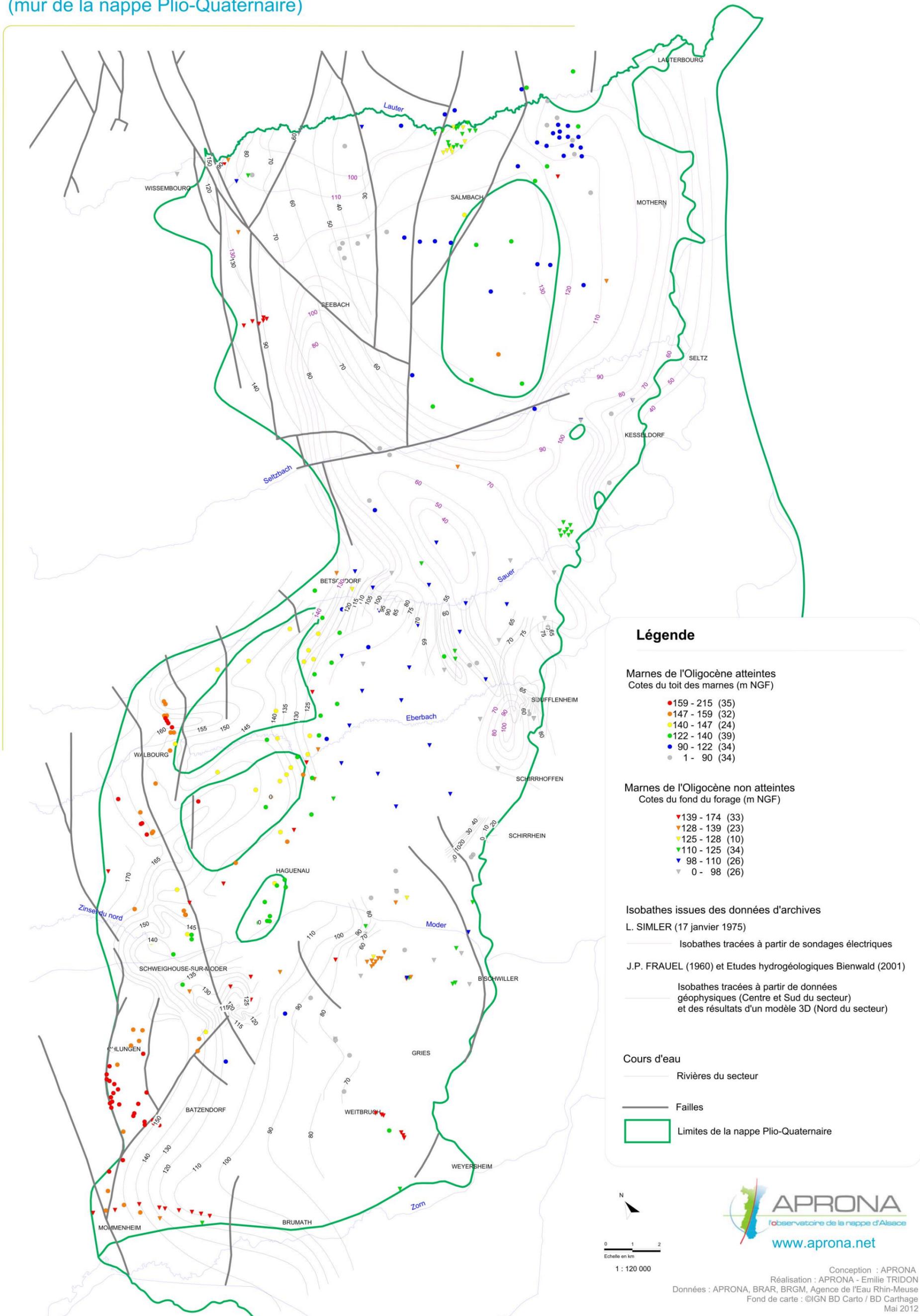
— Failles

▭ Limites de la nappe Plio-Quaternaire



Conception : APRONA
 Réalisation : APRONA - Emilie TRIDON
 Données : APRONA, BRAR, BRGM, Agence de l'Eau Rhin-Meuse
 Fond de carte : ©IGN BD Carto / BD Carthage
 Mai 2012

Synthèse des données d'archives sur le toit des marnes de l'Oligocène (mur de la nappe Plio-Quaternaire)



III.1.3. Discussions sur les tracés

L'ensemble des remarques sur l'interprétation ainsi que les informations complémentaires tirées des archives ont été consignées sur la carte de synthèse des remarques (**annexe 6**).

L'interprétation des données réalisées a permis de corriger fortement les données d'archives dans le fossé de bordure, d'adapter les données existantes dans la forêt de Haguenau et d'interpréter de nouvelles isobathes entre Ohlungen et Mommenheim ainsi que dans la zone du horst de Niederlauterbach. Elle a permis également de mieux visualiser les caractéristiques structurales via des coupes géologiques suivant des axes transversaux et longitudinaux.

III.2. Carte des iso-épaisseurs du Plio-Quaternaire

III.2.1. Méthode générale du tracé des iso-épaisseurs

Les courbes d'iso-épaisseurs, symbolisant l'épaisseur cumulée des formations du Pliocène et du Quaternaire, ont été interprétées en superposant la carte du toit des marnes précédemment réalisée et la carte topographique.

Dans les zones où seules des données d'ouvrages BSS sont présentes, les iso-épaisseurs ont été tracées par interpolation linéaire entre les points de données proches. Au centre du secteur, où des données BSS et une carte des iso-épaisseurs datant de 1960 (FRAUEL J.P.) coexistent, les informations anciennes ont été réinterprétées lorsque les données BSS présentes apportaient des renseignements supplémentaires ou plus récents. Lorsque le lien entre deux iso-épaisseurs de même valeur est incertain ou dans les zones où l'Oligocène n'a pas été atteint, les lignes ont été figurées en pointillés.

Dans le cas où seul le tracé interprété des isobathes du toit des marnes est présent, l'épaisseur du Plio-Quaternaire a été déduite de l'intersection entre les isobathes du toit de l'Oligocène et les courbes de niveau comme l'explique la **figure 11**.

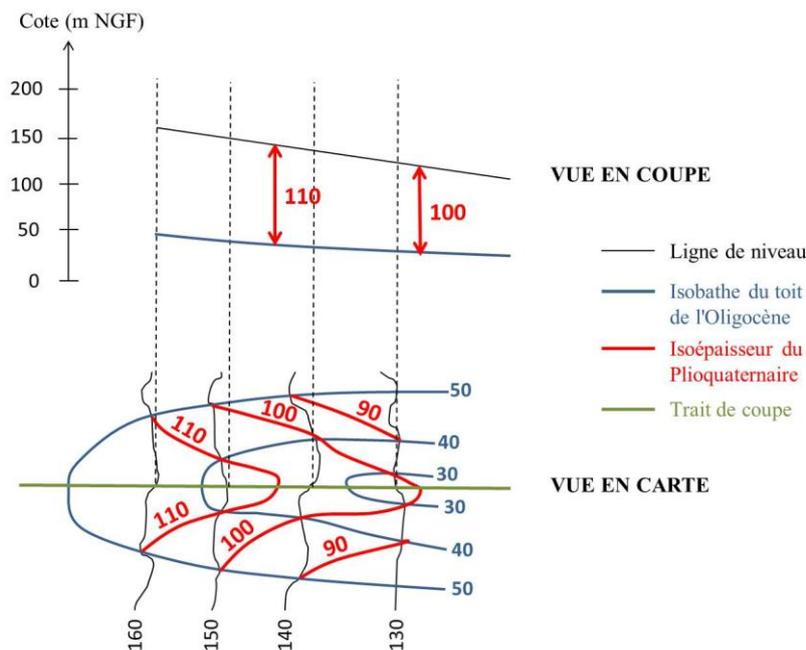


Figure 11 : Schéma explicatif du tracé des isoépaisseurs du Plioquaternaire. Le tracé se base sur les isobathes du toit des marnes de l'Oligocène et les lignes de niveau topographiques. En effectuant la différence entre la cote topographique et la cote des marnes à chacune des intersections entre ces deux types de ligne, il est possible d'en déduire l'épaisseur du Plioquaternaire.

III.2.2. Carte interprétée de l'épaisseur du plio-quaternaire

La carte interprétée des iso-épaisseurs du Plio-Quaternaire ainsi que la carte de synthèse des données d'archives sont présentées successivement aux **pages 21 et 22**. Le paragraphe qui suit présente une synthèse de l'interprétation, l'ensemble des détails figurant sur la notice explicative donnée en **annexe 6**.

La variation d'épaisseur de l'aquifère Plio-Quaternaire est essentiellement due à la variation du mur formé par les marnes de l'Oligocène, la topographie rencontrée étant relativement plane. L'épaisseur du recouvrement Plio-Quaternaire suit donc l'évolution inverse des cotes du toit des marnes de l'Oligocène. Ainsi, les vallées fossiles du toit des marnes sont comblées par les dépôts du Plio-Quaternaire dont l'épaisseur augmente globalement de l'Ouest vers l'Est où l'on passe de 5-10 m à plus de 100 m d'épaisseur à Schirrhein et à Weithbruch. Dans la zone du fossé de bordure, l'épaisseur peut atteindre plus de 100 m (coupe 5 en **figure 10** et coupes B et C en **annexe 7**). L'aquifère du Plio-Quaternaire n'est pas homogène, les fractions argileuses sont plus importantes à l'Est et au Nord du secteur, une nappe perchée a été mise en évidence à l'Ouest de Mothern et l'aquifère se subdivise en deux à la limite Est de la nappe à Kesseldorf et Soufflenheim (coupes D et E en **annexe 7** et coupe 3 en **figure 12**). Dans les zones d'absence de nappe du Plio-Quaternaire, le recouvrement des marnes de l'Oligocène est de faible épaisseur (moins de 30 m), liée à la remontée du mur de l'aquifère.

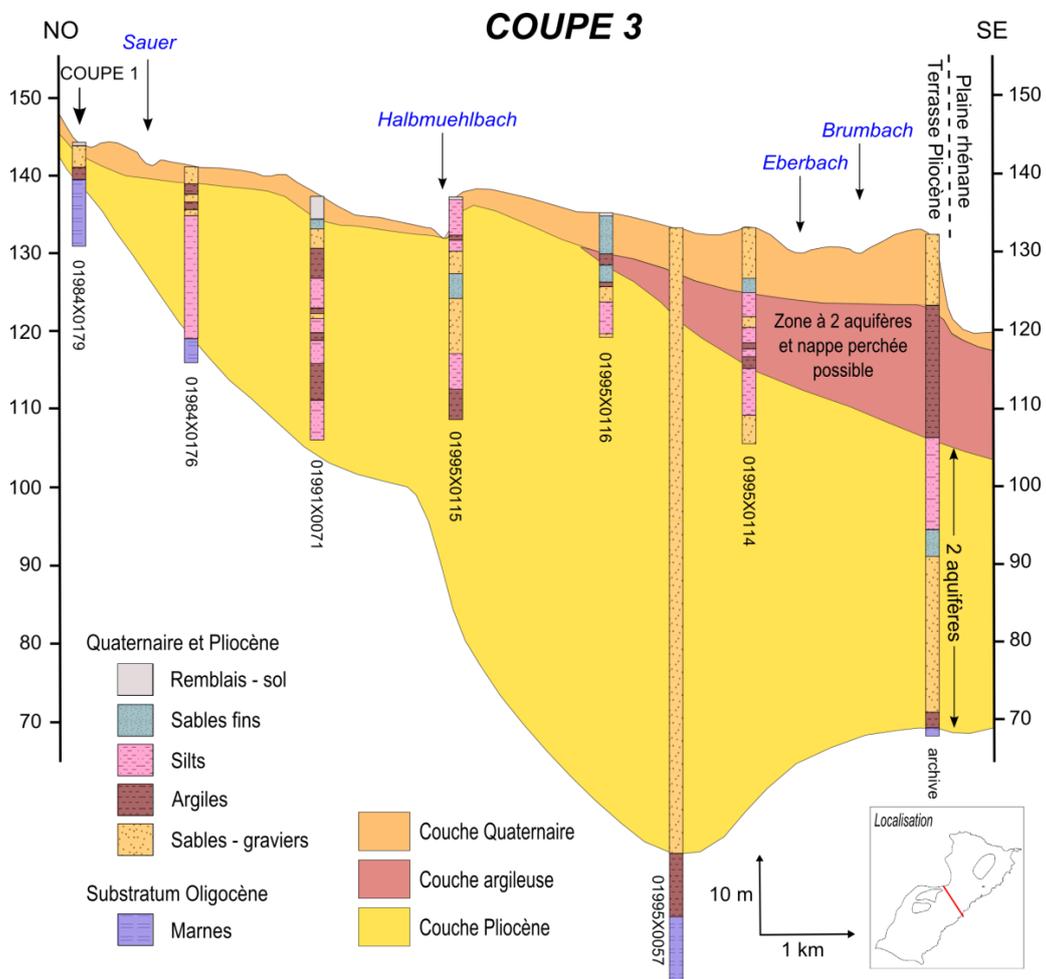


Figure 12 : Coupe transversale au centre du secteur. On distingue la cuvette formée par le mur de l'aquifère et la couche argileuse interprétée de manière continue à l'Est et subdivisant potentiellement la nappe en deux.

III.2.3. Couverture lœssique et caractéristiques particulières

Bien que les formations du Quaternaire et du Pliocène soient indifférenciées sur la carte, des indications sur l'épaisseur des formations du Quaternaire, lœssiques essentiellement, ont été renseignées sur la carte des remarques en **annexe 6**.

Les lœss essentiellement localisés au Nord de la Sauer et au Sud de la Moder et du Rothbaechel ont une épaisseur moyenne de 30 m. Au Nord cette épaisseur reste constante tandis qu'au Sud des variations sont observées. L'épaisseur des lœss tend à décroître de Brumath vers le Nord (Notice de la carte géologique de Brumath, 1970). L'épaisseur des sables du Pliocène augmente, elle, progressivement vers le Sud-Ouest de Haguenau où ils s'enfoncent sous les lœss.

En revanche, au centre dans la forêt de Haguenau, la couverture lœssique est inexistante, elle a été déblayée par les cours d'eau, laissant affleurer plus ou moins les sables du Pliocène qui se retrouvent souvent sous une couverture d'alluvions vosgiennes peu épaisse (BIRTLE C., ELSASS P., 2006).

Les formations lœssiques se retrouvent directement en discordance avec les marnes de l'Oligocène entre Ohlungen et Mommenheim, ou encore entre le fossé de bordure et la terrasse de Mothern au Nord du secteur, où la lithologie Pliocène est argileuse.

III.2.1. Discussion sur les tracés

La zone d'absence de nappe située sur la ville de Haguenau est discutable, plusieurs ouvrages présentent un niveau d'eau dans des formations sableuses et graveleuses gris-brunes de 5 m d'épaisseur en moyenne (coupe 1 en **figure 13**). La nappe s'écoulerait bien dans cette zone. Après discussion avec Monsieur ELSASS, les analyses m'ont amenée à rediscuter les limites qu'il avait proposées, c'est pourquoi cette zone a été supprimée des cartes interprétées. Les deux autres zones d'absence de nappe dans la forêt de Haguenau sont liées à une remontée des marnes et à une couverture Plio-Quaternaire végétale ou argileuse qui s'en trouve réduite.

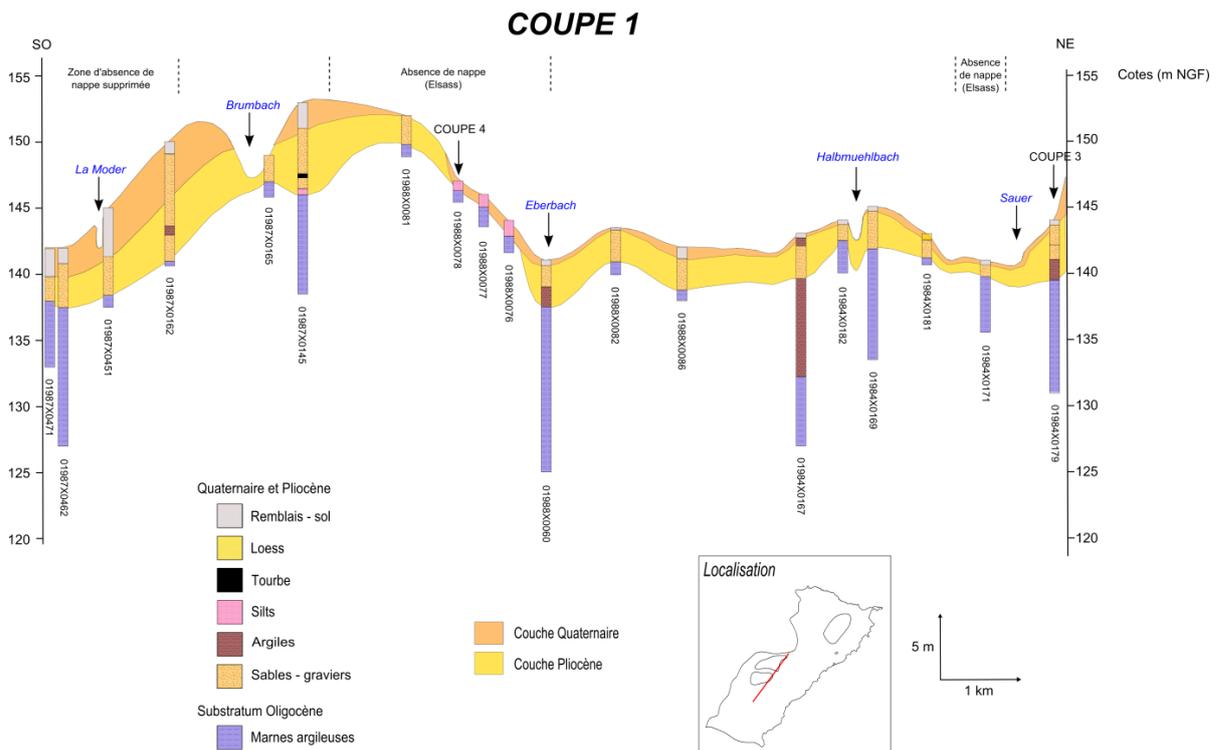
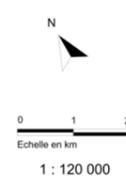
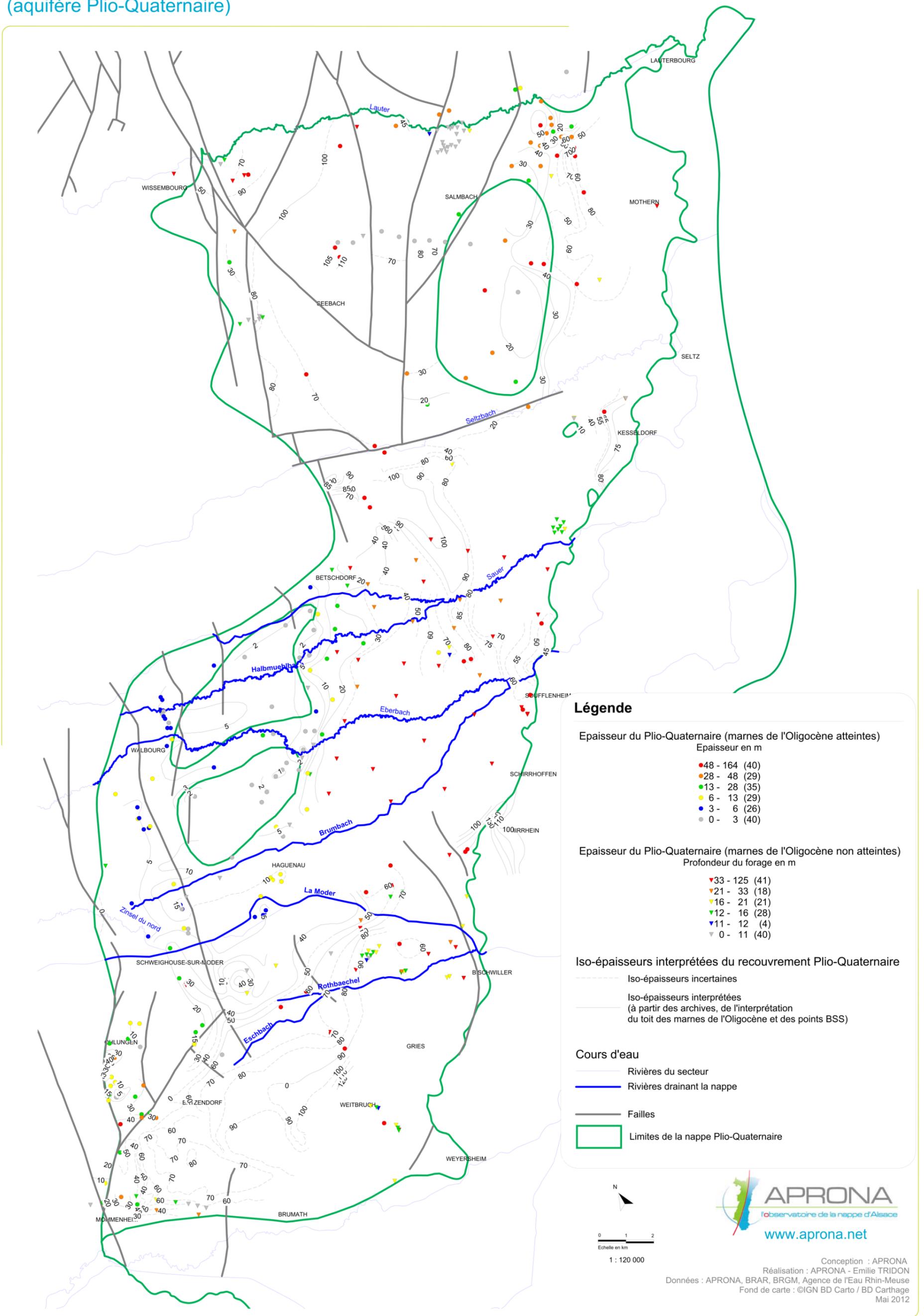


Figure 13 : Coupe longitudinale au centre de la forêt de Haguenau. La partie Sud de cette coupe montre que l'épaisseur et les lithologies rencontrées n'empêchent pas la nappe de s'écouler, les conclusions de Monsieur ELSASS seraient peut-être à rediscuter.

La limite de la nappe à l'Ouest de Mommenheim peut également être discutée dans la mesure où des lœss et sables fins indifférenciés du Pliocène ont été décrits dans les ouvrages à l'Ouest des failles qui délimitent actuellement la nappe selon les données BD Lisa.

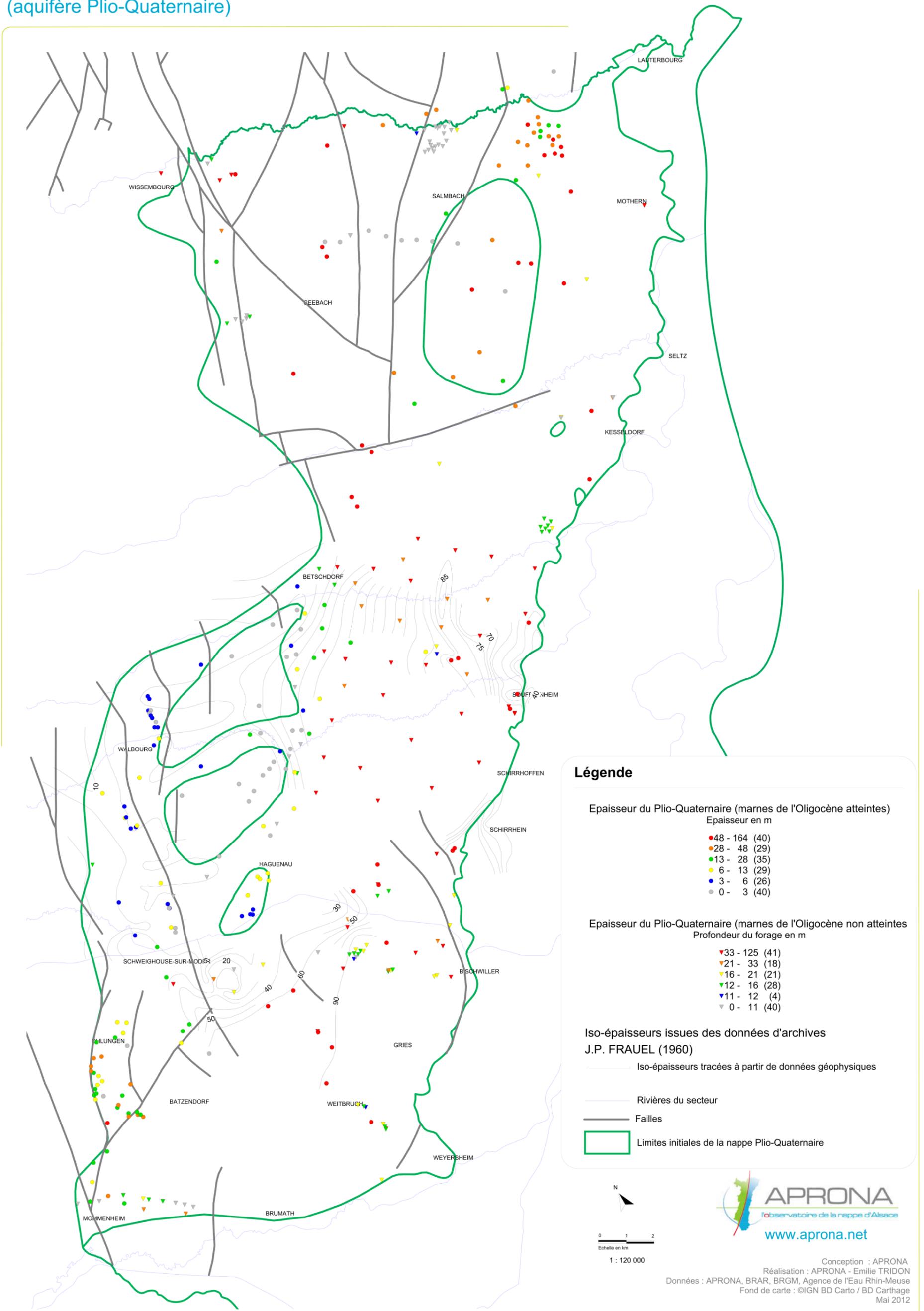
L'interprétation des données réalisée a permis l'adaptation des données dans la forêt de Haguenau et dans la vallée de la Moder et l'élaboration de nouvelles données dans le Nord et le Sud du secteur.

Carte interprétée des iso-épaisseurs du Plio-Quaternaire (aquifère Plio-Quaternaire)



Conception : APRONA
Réalisation : APRONA - Emilie TRIDON
Données : APRONA, BRAR, BRGM, Agence de l'Eau Rhin-Meuse
Fond de carte : ©IGN BD Cartho / BD Carthage
Mai 2012

Synthèse des données d'archives sur le Plio-Quaternaire (aquifère Plio-Quaternaire)



III.3. Carte piézométrique de synthèse des données d'archives

Cette carte donnée en **annexe 7** a été établie à titre indicatif car les cartes piézométriques ayant servi à son élaboration sont issues de périodes différentes. Cette carte permet également de localiser les informations sur les paramètres hydrodynamiques de la nappe.

Les principaux cours d'eau drainant la nappe sont du Nord au Sud, la Sauer, l'Halbmuelbach, l'Eberbach, le Brumbach, le Rothbaechel et l'Eschbach ce quelle que soit la période observée.

IV. Piézométrie

IV.1. Objectifs

L'intérêt de réaliser une campagne piézométrique est d'obtenir une carte actualisée du niveau de la nappe du Plio-Quaternaire et d'apporter les informations manquantes sur le secteur étudié. Elle servira aussi de base à l'établissement au réseau de suivi ultérieur de la piézométrie et à la modélisation.

IV.2. Découpage de la zone en entités

Dans un premier temps, l'ensemble du secteur a fait l'objet d'un découpage en unités hydrogéologiques homogènes. Cette séparation est basée à la fois sur les résultats de l'interprétation réalisée (toit des marnes et épaisseur du Plio-Quaternaire), sur les caractéristiques hydrodynamiques issues des archives ainsi que sur le découpage des alluvions de couverture effectué par le BRGM en 2008 dans le cadre de l'optimisation du réseau de 2006 (URBAN S., GENEVIER M., GUIGNAT S., 2010). Le découpage initial du BRGM fait état de 5 types de couvertures alluvionnaires réparties en 7 zones. Le découpage retenu comporte 9 caractéristiques hydrogéologiques différentes réparties en 14 zones (**figure 14**).

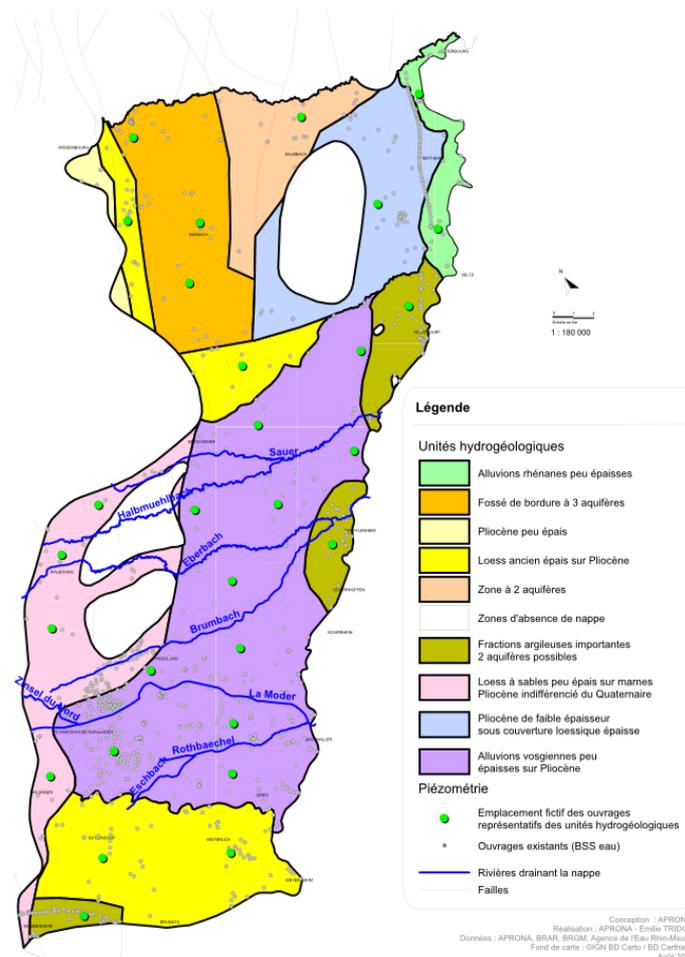


Figure 14 : Découpage des couches aquifères en unités hydrogéologiques homogènes. On y distingue 9 caractéristiques hydrogéologiques différentes réparties en 14 zones. Les ouvrages restants à l'issue du tri, qui a éliminé les ouvrages remblayés ou pétroliers, sont figurés par des points gris. Les 29 points verts représentent l'emplacement de piézomètres fictifs idéalement placés pour le suivi quantitatif de la nappe.

IV.3. Choix des ouvrages

Les piézomètres souhaités ont été placés dans les unités hydrogéologiques précédemment définies de manière à avoir une bonne répartition spatiale. Ce placement a été réalisé de manière théorique, leur emplacement ne symbolisant pas un piézomètre réel existant. Le choix du nombre d'ouvrages souhaités a été effectué en fonction de la variation des caractéristiques au sein d'une zone, des blocs tectoniques, de la proximité avec la limite de la nappe et des rivières drainant la nappe. Ce choix tient également compte du nombre d'ouvrages préconisés dans l'optimisation du réseau (URBAN S., 2010). Sur la carte **figure 14**, 29 ouvrages théoriques représentatifs de la nappe ont ainsi été placés.

Les ouvrages réels existants les plus proches de ces points ont ensuite été recherchés. Pour cela, un nouveau tri des ouvrages répertoriés dans la BSS a été effectué en reprenant l'ensemble des ouvrages initiaux du secteur, soit 2573 points. Les ouvrages marqués comme remblayés, inaccessibles, abandonnés, rebouchés, non-retrouvés ou encore tous ceux utilisés pour la prospection pétrolière ont été éliminés. Le choix parmi les ouvrages restants a ensuite été effectué suivant les critères suivants :

- Utilisation en tant que piézomètre privilégiée. Les ouvrages réalisés à des fins d'approvisionnement en eau agricole ou les puits domestiques sont donc si possible évités.
- Facile d'accès et si possible ne nécessitant pas de demande d'autorisation d'accès
- Ouvrages récents et en bon état de manière à assurer la pérennité des mesures
- La profondeur atteinte : sont privilégiés les ouvrages n'ayant pas atteint de nappe captive. Cependant, les coupes techniques des ouvrages étant rarement présentes, il est difficile de connaître les limites des formations rencontrées. Celles-ci ont été jugées d'après les ouvrages alentours.

Plusieurs ouvrages existants les plus proches des points fictifs ont été gardés. Ceci afin de conserver des ouvrages alternatifs au cas où ceux privilégiés ne soient pas retrouvés ou exploitables pour une mesure piézométrique.

IV.4. Reconnaissance sur le terrain

IV.4.1. Ouvrages de la BSS

Chaque ouvrage potentiel a fait l'objet d'une première visite sur le terrain pour constater l'accessibilité, le bon état et la possibilité de mesure piézométrique. A cette occasion, une première mesure du niveau piézométrique a été réalisée afin de juger de la pertinence du niveau piézométrique par rapport aux données issues des archives. Le diamètre ainsi que la profondeur des ouvrages ont également fait l'objet de mesure. Les données de nivellement des ouvrages sont reprises des fiches de données Infoterre sauf indication directe sur les ouvrages.

A l'issue des premières visites sur le terrain et chez les habitants, de nombreux ouvrages n'étaient pas exploitables, le puits étant rebouché ou scellé et muni d'une pompe, ou n'ont pas été retrouvés. Certaines zones sont donc mal renseignées et nécessitent de rechercher des ouvrages avec des critères moins restrictifs, notamment en terme de profondeur. Divers organismes ont été contactés pour obtenir des autorisations d'accès à certaines zones restreintes, ce qui a permis de mesurer des ouvrages supplémentaires. L'ensemble des ouvrages visités sont listés dans le tableau en **annexe 8**.

IV.4.2. Caractéristiques des cours d'eau

Parallèlement à la reconnaissance des points de mesure de la nappe, les cours d'eau ont également été décrits. Certaines données sur les seuils existants sur la Sauer, l'Eberbach et la Moder étaient déjà

disponibles dans les archives de l'APRONA. Ces données ont ensuite été complétées par une visite sur le terrain, le 25 juin 2012, au cours de laquelle des mesures ont été réalisées à partir des ponts. Le niveau de l'eau par rapport au pont équivalent du niveau naturel et la largeur du cours d'eau ont été mesurées, l'état (vaseux, trouble,...) et la présence d'ouvrages sur les cours d'eau ont également été décrits. Ces données ont ensuite servi de base pour contraindre le modèle et mieux caractériser les relations nappe-rivière.

IV.5. Mise en œuvre de la campagne piézométrique

La zone concernée par les mesures piézométriques est liée à l'élaboration du modèle hydrodynamique. Au-dessus du Seltzbach, la zone faillée du Nord-Ouest n'a pas été considérée dans le modèle car elle a déjà fait l'objet d'une modélisation en 2001 (BROST E.), revue en 2011 (BURKHART O.). La partie Nord-Est comprenant la terrasse de Mothern est également exclue, car elle rendrait la modélisation trop complexe.

L'ensemble des ouvrages retenus au cours de la campagne de reconnaissance ont fait l'objet d'une mesure du niveau piézométrique le 10 juillet 2012. Le réseau de l'APRONA existant sur le secteur fait l'objet d'un suivi par des observateurs. L'ensemble des ouvrages de ce réseau a été relevé le 11 juillet 2012.

IV.6. Traitement des données de la campagne piézométrique

Les informations récoltées au cours de cette campagne ont été synthétisées dans un tableau en **annexe 9**. Sont renseignés, entre autres, les coordonnées dans le système WGS84, la hauteur du repère de mesure par rapport au sol, l'altitude, la profondeur de l'ouvrage et du niveau piézométrique, le type de fermeture et l'accessibilité à l'ouvrage. La cote du sol a été reprise des fiches Infoterre, faute d'indications trouvées sur place sur les ouvrages et a servi de référence pour déterminer la cote du repère et du niveau de la nappe.

Au final, 23 ouvrages validés ont été mesurés au cours de la campagne piézométrique dont 12 piézomètres en comptant les 7 du réseau APRONA. Seul 17 de ces ouvrages ont été utilisés pour interpréter les isopièzes. La localisation de ces ouvrages ainsi que le tracé manuel de la carte piézométrique de la nappe à partir de ces données figurent sur la **carte p 30**. La représentativité des ouvrages vis-à-vis des unités hydrogéologiques définies a été jugée en fonction des ouvrages alentours disposant de logs géologiques validés. En effet, la plupart des puits ou piézomètres exploitables pour l'établissement de la carte piézométrique ne disposent pas de coupe technique, seule une estimation des couches traversées peut donc être formulée. Compte tenu de l'indifférenciation des sables du Quaternaire et du Pliocène dans les sous-sols forestiers, l'estimation de la base du Quaternaire peut présenter un caractère aléatoire.

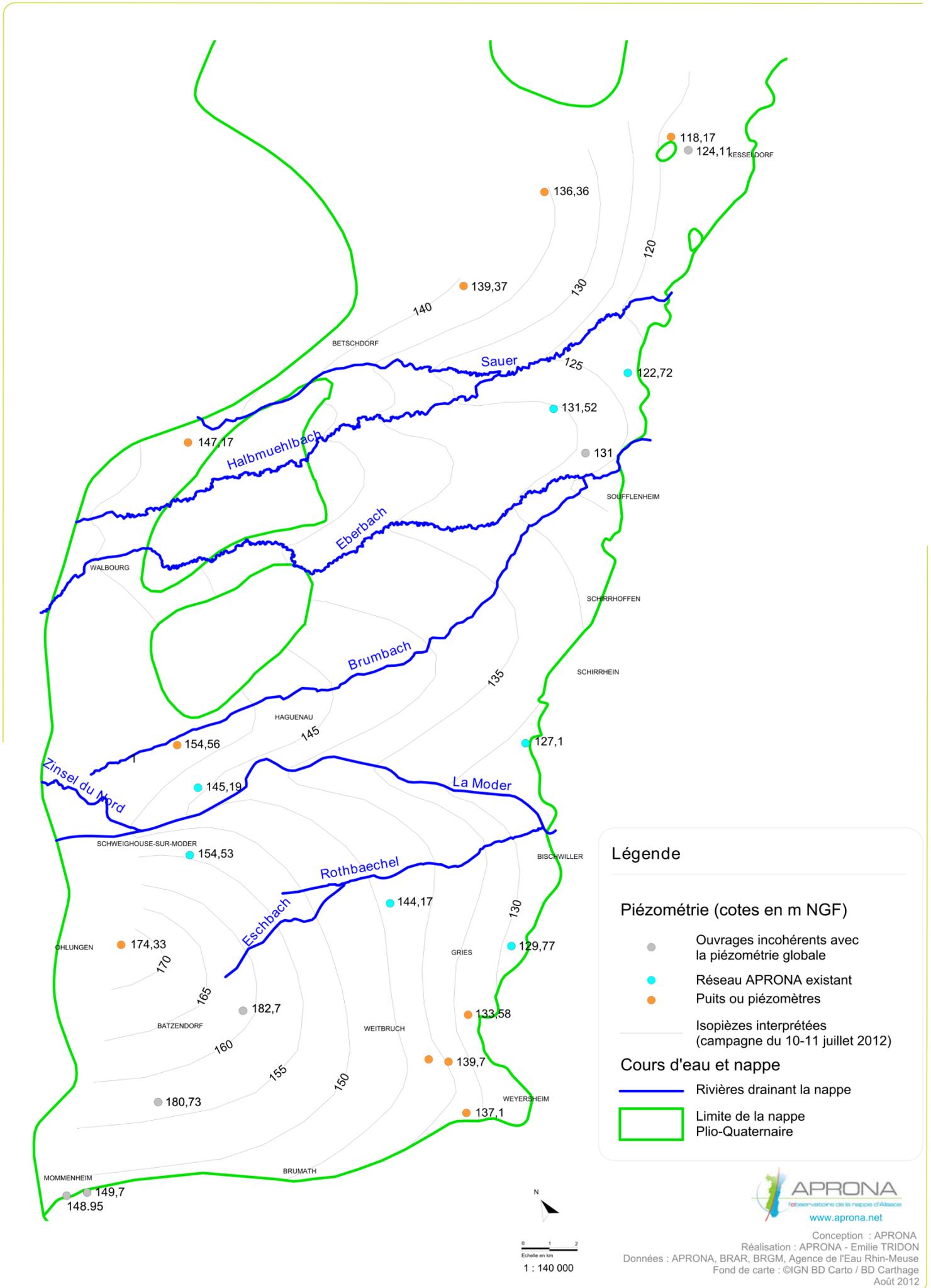
Parmi l'ensemble des points mesurés, 6 ont été exclus de l'interprétation :

- Deux points en bordure Sud à l'Ouest (02342X123-02341X0015). Leur piézométrie ne permet pas d'indiquer s'il s'agit de la nappe pliocène ou de la nappe rhénane. Les isopièzes tracées de la nappe rhénane par l'APRONA pour la situation de septembre 1991 ne s'étendent pas jusqu'à cette limite. Une vérification n'est donc pas possible.
- Deux points dans la partie Sud-Ouest (02342X0124-02342X9999). Ces deux puits ont une cote piézométrique 30 m au-dessus de celle attendue. Ces puits ne sont certainement pas assez profonds pour atteindre les sables pliocènes recouverts par une épaisse couche de lœss.
Une autre hypothèse peut aussi être formulée. Le référentiel hydrogéologique français BD Lisa (URBAN, S., 2010), fait état de nappes perchées locales dans les zones lœssiques.

Ces observations ont pu être confirmées par la description d'une nappe perchée dans le Nord du secteur à l'Ouest de la zone d'absence de nappe dite du Niederlauterbach. Il est donc possible que ces ouvrages ne mesurent que le niveau d'eau d'une nappe perchée. Dans tous les cas, ils ne sont pas représentatifs de la nappe du Plio-Quaternaire étudiée.

- Les deux derniers points sont localisés dans la partie Nord-Est (01995X0025-01992X0033). Ils indiquent une piézométrie plus importante par rapport aux points alentours, non cohérente avec les données de 1991 et avec le sens d'écoulement. Ces écarts sont peut-être le fait des fractions argileuses plus ou moins continues présentes dans cette zone.

La carte piézométrique obtenue peut être comparée à la précédente carte établie par l'APRONA (sept 1991), qui est disponible en **annexe 10**. La forme globale des isopièzes reste inchangée dans les zones où le tracé était existant, seul un décalage de la cote des isopièzes est observé. Cet écart est dû au régime de basses eaux en septembre 1991 et de moyennes eaux en juillet 2012. Deux inflexions sont observables, respectivement sur les isopièzes 155 et 145 au Sud de la Moder, sur la carte piézométrique de 1991. L'inflexion de l'isopièze 145 est certainement due à un puits de pompage et sera confirmée par la modélisation. L'inflexion de l'isopièze 155 met en évidence une zone plus transmissive confirmée par les données d'archives (KREBS G., 1991). Ces deux inflexions n'ont pu être mises en évidence par le tracé manuel, le réseau piézométrique n'étant pas suffisamment dense dans ces zones pour distinguer ces particularités.



Légende

Piézométrie (cotes en m NGF)

- Ouvrages incohérents avec la piézométrie globale
- Réseau APRONA existant
- Puits ou piézomètres

— Isopièzes interprétées (campagne du 10-11 juillet 2012)

Cours d'eau et nappe

- Rivières drainant la nappe
- ▭ Limite de la nappe Plio-Quaternaire



Echelle en km
0 1 2
1 : 140 000

V. Modélisation hydrodynamique en régime permanent

V.1. Objectifs

Le modèle hydrodynamique de la nappe du Plio-Quaternaire est destiné à simuler l'écoulement de la nappe pour en avoir une meilleure appréhension dans un souci de gestion de la ressource en eau. Il aidera à déterminer les ouvrages de la campagne piézométrique à garder pour le suivi de la nappe et à localiser les nouveaux ouvrages à construire dans les zones manquant d'information. Ce modèle doit également permettre d'effectuer un bilan hydraulique de l'aquifère et de mieux quantifier les relations entre la nappe Plio-Quaternaire et la nappe rhénane.

V.2. Logiciel utilisé

Le modèle a été élaboré avec le logiciel Visual MODFLOW Pro, logiciel de modélisation 2D et 3D de l'écoulement des eaux souterraines, développé en 1994 par Waterloo Hydrogeologic Inc. Il utilise le code de calcul MODFLOW (United States Geological Survey - USGS) Il inclut de nombreux outils comme la modélisation du transport de polluant via le module MT3DMS, le tracé de particules suivant l'écoulement via le module MODPATH ou le module PEST de calage automatique permettant d'optimiser des paramètres définis (conductivités hydraulique, recharge) de l'aquifère de manière à obtenir des charges calculées le plus proche de celles mesurées en des points d'observation donnés.

V.3. Description du modèle

Le modèle occupe les 2/3 inférieurs des limites de la nappe du Plio-Quaternaire tracées par le BRGM. Au Nord, le modèle s'arrête donc au niveau du cours d'eau du Seltzbach. La zone d'absence de nappe au niveau de Haguenau a été supprimée suivant les observations faites en partie V. Le modèle occupe une superficie de 360 km².

Les cotes piézométriques mesurées sont situées pour la plupart dans les sables du Pliocène, il a été donc décidé de réaliser un modèle monocouche de ces sables. La modélisation se fait donc sous l'hypothèse de la nappe libre.

L'aquifère a été discrétisé en mailles carrées de 250 m de côté selon une grille rectangulaire formée de 102 lignes et 139 colonnes. Les cellules situées en dehors des limites de la nappe du Plio-Quaternaire ont été désactivées.

V.4. Structure et géométrie du modèle

Le système de coordonnées Lambert 93 a été utilisé dans le modèle. La structure et la géométrie du secteur étudié sont complexes et font donc l'objet de simplifications ou d'interprétations dues aux informations éparses disponibles.

Le MNT a été généré à partir d'une grille IGN de points espacés de 75 m.

Les zones manquant d'informations sur le toit des marnes de l'Oligocène ont été tracées à la main en tenant compte de la cote du fond de travaux des ouvrages n'ayant pas atteint les marnes. Ces isobathes ont ensuite été digitalisées et ont fait l'objet d'une interpolation nécessaire pour avoir une surface complète du mur de l'aquifère. Elle concerne les zones Est de la forêt de Haguenau et la partie Sud située sous couverture lössique. La carte, résultat de cette interpolation, est donnée en **annexe 11**.

V.5. Conditions aux limites et charges initiales

Les charges initiales prises en compte sont celles issues des isopièzes tracées à l'issu de la campagne piézométrique de juillet 2012.

Toutes les limites du modèle sont à potentiel imposé. Au Nord, le potentiel a été imposé en suivant le dénivelé du cours d'eau et en tenant compte d'un encaissement du cours d'eau de 2 à 4 m par rapport au terrain naturel. Sur toutes les autres limites, les valeurs de potentiel ont été attribuées, avec certaines adaptations, en se basant sur la carte piézométrique de juillet 2012.

V.6. Conductivité hydraulique

Le modèle étant monocouche, la présence d'alluvions du Quaternaire indifférenciées avec les sables du Pliocène a été prise en compte en attribuant une conductivité hydraulique plus importante que celle des sables pliocènes. Dans un premier temps, la conductivité hydraulique horizontale a été fixée à 1.10^{-4} m/s et verticalement à 1.10^{-5} m/s dans la partie Ouest de la zone centrale du modèle. Partout ailleurs, la conductivité hydraulique correspond à celle des sables du Pliocène et a été fixée horizontalement à 1.10^{-5} m/s et verticalement à 1.10^{-6} m/s. Ces zones ont ensuite été redéfinies et subdivisées au cours du calage du modèle.

V.7. Termes sources

V.7.1. *Echanges nappe-rivière*

Les échanges entre la nappe et les différents cours d'eau ont été pris en compte grâce aux points de mesure disponibles au niveau des ponts et à un coefficient d'échange estimé à partir de l'étude Monit de juillet 2006 (LUBW). Le coefficient d'échange représente le rapport entre la perméabilité et l'épaisseur des sédiments formant le lit de la rivière. Un coefficient d'échange de $\lambda = 1.10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a été considéré dans un premier temps. La conductance, paramètre dérivant du coefficient d'échange, a été calculée suivant la formule $C = \lambda * l * L$ où l représente la largeur de la rivière au point de mesure ou dans la maille considérée, et L la longueur du tronçon de rivière considéré. Dans le cadre de cette étude, la conductance a été attribuée aux mailles disposant de points de mesure, L représente alors la longueur d'une maille soit 250 m. L'attribution des valeurs dans les mailles situées entre ces points de mesure a été réalisée par interpolation linéaire.

V.7.2. *Recharge*

La recharge de la nappe est due en grande partie aux précipitations. Cinq zones de recharge ont été définies. Un premier découpage en deux du secteur se base sur les données de l'étude MoNit (LUBW, juillet 2006) indiquant une recharge moins importante au Sud de la Moder qu'au Nord. Cette étude indique une moyenne pluviométrique pluriannuelle de 950 mm/an au Nord de la Moder et de 850 mm/an au Sud de la Moder. Ces deux zones ont ensuite été subdivisées pour tenir compte d'une recharge très faible sous les lèss et nulle sous les couches continues d'argiles. La recharge sous les lèss représente ainsi 5% des précipitations alors que dans les zones sableuses elle est de 10% des précipitations (BABOT Y., KREBS G., 1982). Les valeurs de ces recharges ont ensuite été ajustées au cours du calage du modèle.

V.7.3. *Puits de pompage*

Les pompages recensés sur le secteur ont été importés à partir d'un fichier d'archive de l'APRONA. Leurs caractéristiques sont résumées dans le tableau en **annexe 12**.

V.8. Calage du modèle

V.8.1. *Adaptations du maillage*

Les premiers résultats des simulations ont montré un surplus d'eau dans la zone Ouest du modèle. L'attribution de perméabilités plus fortes ou d'une recharge plus faible n'était pas cohérente avec la lithologie rencontrée, à savoir des alluvions vosgiennes mélangées à des sables Pliocène fins. Les mailles situées dans les zones d'absence de nappe délimitées par le BRGM d'abord exclues du modèle ont été réintégrées. En effet, bien que l'épaisseur de l'aquifère soit faible dans ces zones, rien n'empêche l'écoulement de se faire. A l'issue de cette correction, les isopièzes modélisées étaient plus cohérentes avec les mesures de terrain.

De nombreuses mailles dénoyées ont aussi été observées dans certaines zones en limite Ouest du modèle. La première zone se situe au Sud de Ohlungen, entre les cours d'eau de la Moder et la Zorn. Les nombreux ouvrages présents et l'interprétation du toit des marnes ont mis en évidence la présence d'une butte topographique combinée à une remontée des marnes jusqu'à 2 m de profondeur au minimum. La pente importante du terrain naturel dans ce secteur, 10 m en 250 m explique les immenses marches d'escalier obtenues sur les mailles du modèle et donc des discontinuités d'écoulement ou des mailles desséchées. Pour pallier ce problème et assurer la continuité de l'écoulement, des adaptations de la cote du substratum ont été nécessaires en tenant compte si possible des informations données par les forages présents. Le MNT, qui lui est moyenné sur chaque maille, n'a pas été rediscuté. Les potentiels imposés en bordure se basent sur des données très incomplètes et ont donc été ajustés de manière à apporter suffisamment d'eau dans les mailles de bordure. Une deuxième zone située entre l'Halbmuehlbach et l'Eberbach a rencontré le même problème, comme le montre la coupe de la **figure 15**, et a fait l'objet de la même adaptation.

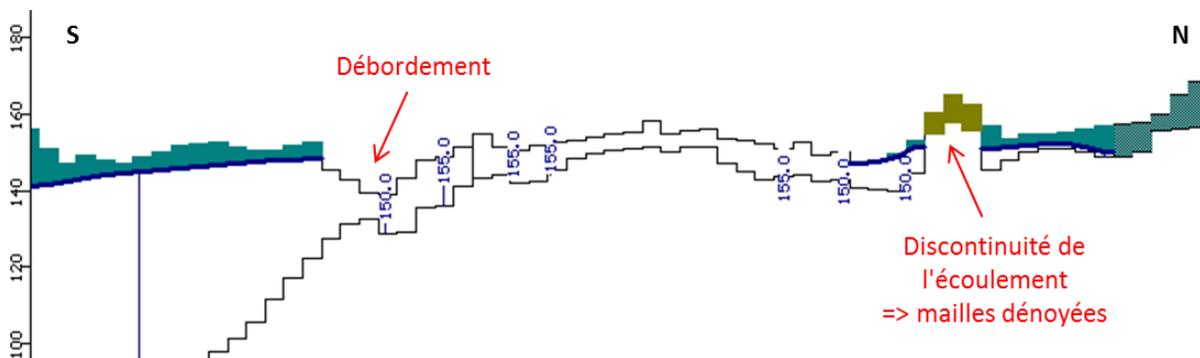


Figure 15 : Coupe longitudinale de la partie Ouest du modèle. La forte variation de la topographie dans le Nord de cette coupe combinée à une faible épaisseur de l'aquifère entraînent une discontinuité de l'écoulement. A l'inverse vers le Sud, la faible épaisseur de l'aquifère engendre des débordements.

D'une manière générale, l'ensemble des potentiels de bordure ont été réadaptés et certaines mailles exclues du modèle. En effet, un écart de 10 à 15 m de la cote topographique entre deux mailles voisines peut être observé. Cet intervalle est directement relié à la terrasse de Haguenau qui forme un relief d'une dizaine de mètres par rapport à la plaine des alluvions rhénanes (LUBW, juillet 2006).

V.8.2. *Zones de perméabilité et de recharge*

Les zones de perméabilité précédemment définies à partir du découpage en unités hydrogéologiques ont été plus finement subdivisées pour tenir compte soit de variabilités de la lithologie (bordure Ouest) soit de corrélations observées entre plusieurs points de contrôle (zone centrale et Sud-Est). Les premiers calages ont été réalisés en attribuant manuellement les valeurs de conductivités hydrauliques à partir des lithologies rencontrées dans les données de la BSS. Le modèle

convergeant, ces paramètres ont ensuite été optimisés grâce au module PEST en choisissant plusieurs zones montrant une corrélation sur le diagramme de dispersion⁵. Pour chaque zone, une fourchette de variation de la perméabilité de $\pm 0,5$ a été autorisée dans le module. L'ajustement a été jugé acceptable lorsqu'un écart de 1 m au maximum était observé par rapport au niveau piézométrique mesuré. La vérification de la forme des isopièzes et des mailles dénoyées obtenues a été effectuée en parallèle. Lorsque l'ajustement était acceptable, les valeurs de perméabilité optimisées ont été affectées dans les zones correspondantes de perméabilité en entrée du modèle.

Le découpage des différentes zones de perméabilités et de recharge est représenté sur la **figure 16** suivante.

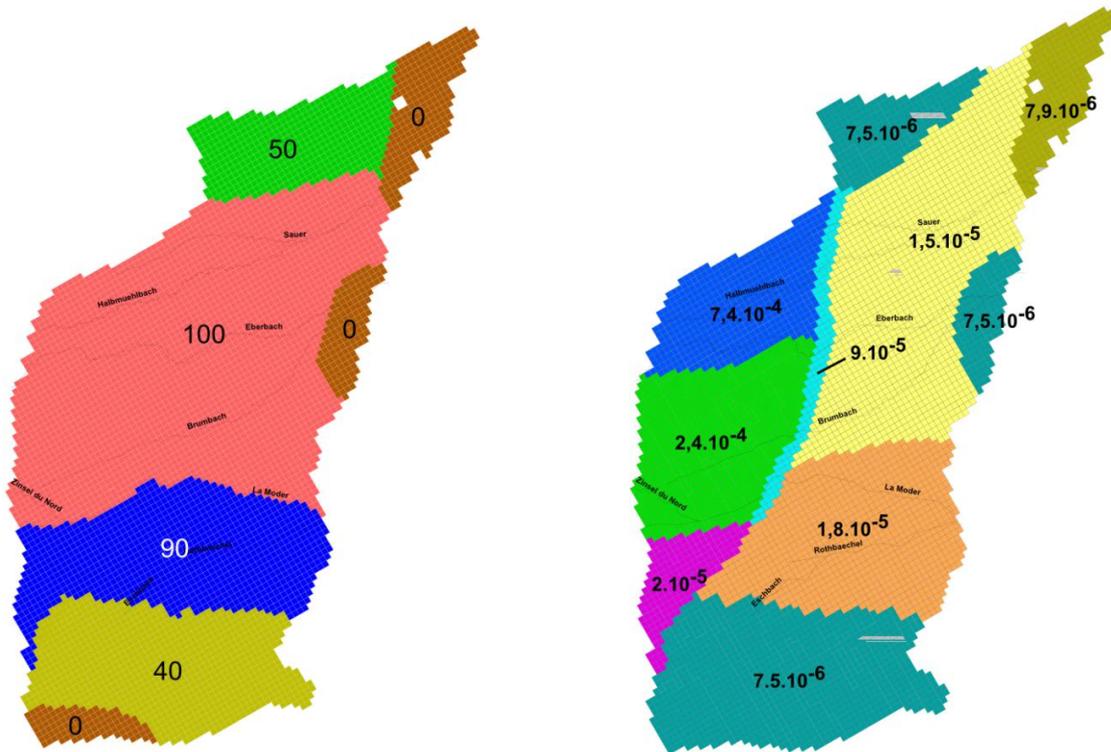


Figure 16 : Répartitions des zones de recharges (mm/an) et de perméabilités (m/s). A gauche, la recharge moyenne sur le secteur est de 70 mm/an. A droite, la carte des perméabilités indique que celle-ci varie de $7,5 \cdot 10^{-6}$ m/s sous les lèss et dans les zones argileuses, et jusqu'à $7,4 \cdot 10^{-4}$ m/s dans la zone des alluvions rhénanes (zone bleue)

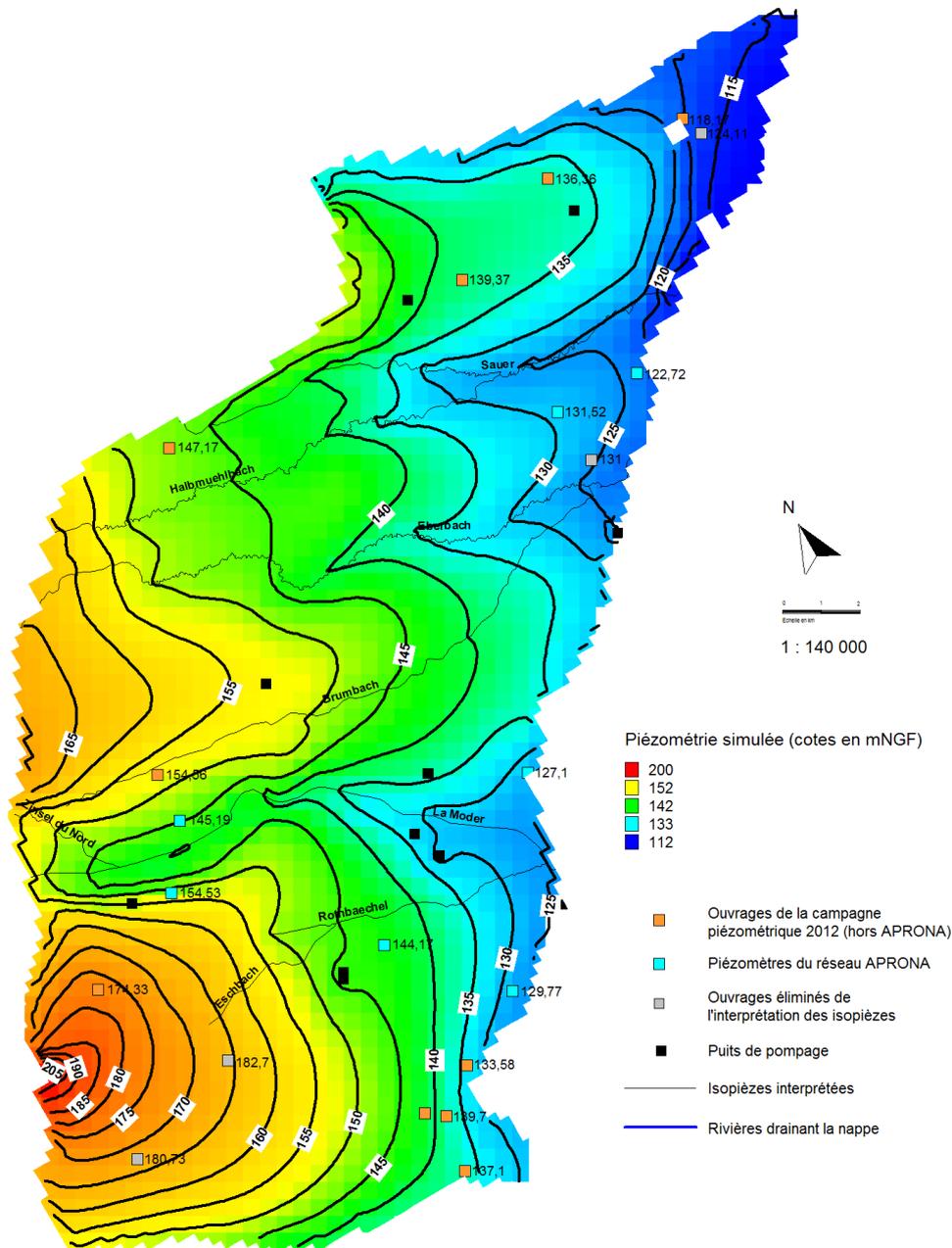
V.8.3. Carte piézométrique simulée

La carte piézométrique simulée, **figure 17**, montre une conservation de la forme des isopièzes par rapport à la piézométrie interprétée manuellement et à la piézométrie de septembre 1991. Le rôle drainant de la Sauer, de l'Halbmuehlbach, de l'Eberbach et de la Moder est bien marqué. En revanche, le Brumbach et le Rothbaechel ne semblent pas avoir d'influence sur la nappe contrairement à ce qu'indiquaient plusieurs archives. On observe un fort drainage de la nappe par la Moder en amont de Haguenau, ce qui est cohérent avec les observations des archives (DAESSLE M., 1993). Dans la partie Sud-Ouest, une butte formée par les marnes mais aussi par le relief entraîne la formation d'un dôme piézométrique. Au Sud de Haguenau, entre la Moder et l'Eschbach, la zone plus transmissive décrite dans les archives est légèrement marquée par un gradient hydraulique plus faible.

L'aquifère étant peu transmissif dans sa globalité, l'influence des puits de pompage d'alimentation en eau potable est visible par les inflexions qu'ils produisent sur les isopièzes simulées. Dans le cadre de la simulation, plusieurs pompages ont été désactivés car ils formaient des cônes de rabattement trop importants et dénoyaient donc l'aquifère. Il s'agit d'un puits réel (01987X0058) et d'un regroupement

⁵ Diagramme de dispersion : graphe mettant en relation les charges calculées et les charges mesurées

de plusieurs pompages distincts non localisés, rassemblés au centre de la commune. Les données de ces puits sont donc peut-être à reconsidérer.



V.9. Etude de sensibilité

Le modèle hydrodynamique est très sensible aux variations importantes du MNT notamment aux bordures. En effet, l'aquifère est très peu épais, 10 à 15 m au maximum, et la topographie peut varier de 10 m en 250 m, la dimension d'une maille.

Pour une conductivité donnée, par exemple 3.10^{-5} m/s, une fourchette de valeurs de $\pm 1.10^{-5}$ m/s influence beaucoup la charge calculée. Ceci a notamment été constaté dans la zone à l'Ouest de Haguenau et dans le Nord-Est du secteur, où la variabilité est due à des couches plus ou moins continues d'argiles. Le poids de cette influence va affecter la dispersion des points dans le diagramme charges calculées-charges mesurées et également le débordement.

La conductance ne joue pas sur les résultats de la modélisation mais a quelquefois permis au modèle de converger plus rapidement. En revanche, l'encaissement des cours d'eau influence énormément la forme des isopièzes, ce qui est notamment le cas de la Moder en amont de Haguenau.

Les conductivités étant faibles en moyenne sur le secteur, les valeurs de la recharge jouent fortement sur les résultats de la simulation.

V.10. Bilans et résultats de simulation

V.10.1. *Bilan des flux*

Les résultats de simulation montrent un bilan entrée-sortie équilibré et une convergence rapide du modèle.

Les flux entrants sont en grande partie influencés par la recharge qui représente 75 % des flux entrants (**figure 18**). Cette donnée confirme celles des archives indiquant la grande influence des précipitations dans la recharge de la nappe, les flux latéraux provenant des collines vosgiennes étant de moindre importance. Le flux latéral Ouest semble occuper une part plus importante qu'escomptée. Cette bordure manque de données et présente une épaisseur aquifère faible avec de grandes variations de la surface topographique d'où cette incertitude.

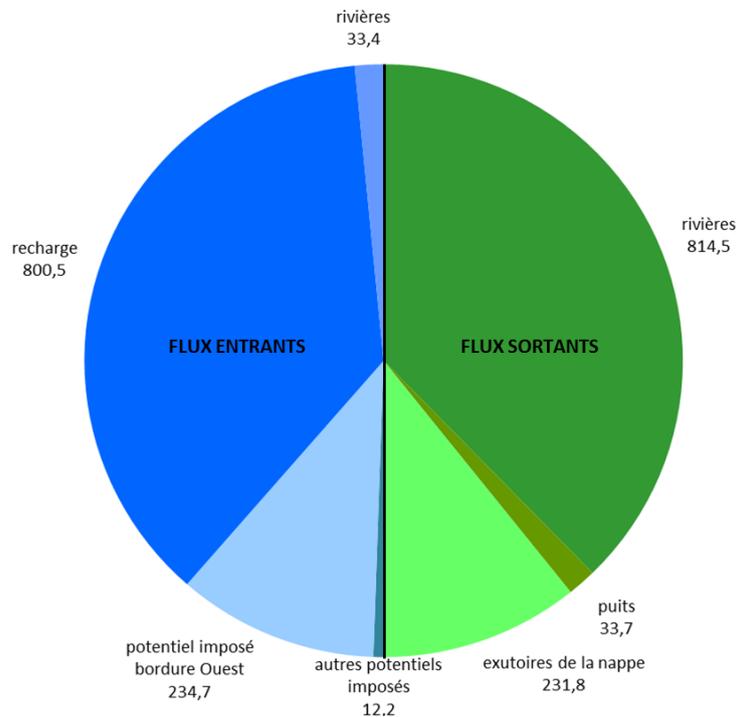


Figure 18 : Diagramme en secteurs des flux entrants et sortants du modèle (en L/s). Le bilan est équilibré et montre l'influence pour 2/3 de la recharge dans les flux entrants, et des rivières pour les flux sortants.

Les rivières constituent 75 % des flux sortants ce qui confirme un fort drainage de la nappe. Le déversement de la nappe Pliocène dans la nappe rhénane représente près de 22 % des flux sortants dont la répartition est discutée dans le paragraphe suivant. Les puits de pompage ne représentent que 3 % des débits sortants mais influencent les écoulements du fait de la faible transmissivité de l'aquifère Plio-Quaternaire.

Sur la grille du modèle en **figure 19** ont été rajoutés les flux entrants et sortants sur les zones de bordure du modèle.

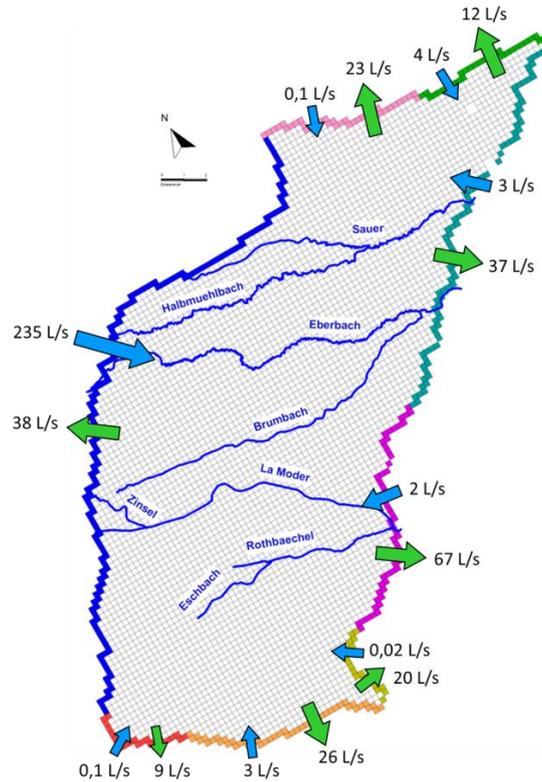


Figure 19 : Bilan des flux entrants (flèches bleues) et sortants (flèches vertes) par zones de bordure. La bordure Ouest participe en grande partie au flux entrant. Les exutoires principaux de la nappe sont la partie Sud-Est du modèle. La bordure Ouest constitue aussi un exutoire non négligeable ce qui est incohérent avec le sens d'écoulement global. Cette particularité s'explique par la faible épaisseur de l'aquifère couplé à la butte formée par le toit des marnes dans la partie Sud-Ouest.

Les flux latéraux entrants dans le modèle sont localisés sur la bordure Ouest qui apporte 95 % des flux latéraux. Les 5 % restants sont des artefacts du modèle et sont dus à l'encaissement du Seltzbach ou aux potentiels imposés qu'il sera nécessaire d'affiner.

Les flux sortants sont localisés sur les bordures Sud et Est et caractérisent bien un déversement de la nappe du Plio-Quaternaire dans la nappe rhénane comme écrit dans plusieurs archives consultées. Les débits de sortie dans la moitié Sud de la bordure Est (20 et 67 L/s) sont proches des ordres de grandeur donnés dans les archives qui indiquaient respectivement, pour ces mêmes zones, 27 L/s et 75 L/s (BABOT Y., KREBS G., 1982). On remarque les échanges faibles dans l'extrême Sud-Ouest dans les environs de Mommenheim caractérisés par d'importantes proportions d'argiles. Les débits sortants plus importants que les débits entrants sur la bordure Nord ainsi que la forme des isopièzes sembleraient indiquer un rôle drainant du Seltzbach bien qu'aucunes données d'archives ne mettent en évidence cet échange nappe-rivière. Des échanges à l'extrême Nord-Est du modèle sont également observés allant de la bordure Est à la bordure Nord de l'ordre de 5L/s. Ces écoulements ne semblent pas cohérents avec les échanges précédemment mis en évidence. Les potentiels imposés et les encaissements des rivières dans cette zone sont donc à affiner.

Il est à noter une part non négligeable (16 % des débits sortants) au niveau de la bordure Ouest. Ce flux va à l'encontre de l'écoulement global et est l'effet de la présence d'une butte formée par les marnes au Sud de la Moder. Ceci entraîne une divergence de l'écoulement vers la bordure Ouest, d'où les flux sortants observés.

Les ordres de grandeur obtenus peuvent être retrouvés par calcul. La moyenne de la recharge sur le secteur est de 70 mm/an. Le flux entrant, correspondant à la recharge sur la totalité de la surface du secteur de 360 km², représente donc 795 L/s.

La loi de Darcy permet d'obtenir le flux latéral entrant dans le modèle :

$$v = k * \text{grad } i \quad \text{et} \quad Q = v * S$$

où k est la conductivité hydraulique en m/s, $\text{grad } i$ le gradient hydraulique, v la vitesse de Darcy, S la section d'écoulement (épaisseur mouillée * largeur d'une maille), Q flux entrant en m^3/s .

Par exemple, sur la bordure Ouest comptant environ 110 mailles, l'épaisseur mouillée est en moyenne comprise entre 5 et 10 m, la conductivité hydraulique moyenne est de $2.5 \cdot 10^{-4}$ m/s et le gradient hydraulique moyen est de 4‰.

Par conséquent,

$$Q = 110 * 2.5 \cdot 10^{-4} * 0.004 * 250 * 7.5 = 206 \text{ L/s}$$

On retrouve ainsi le même ordre de grandeur que les résultats de simulation qui indiquent un débit entrant de 235 L/s.

V.10.2. Analyse des charges calculées

Les charges hydrauliques calculées obtenues à l'issue des simulations ont été comparées aux niveaux piézométriques mesurés pour la campagne piézométrique. Le résultat de cette comparaison est donné sur le diagramme en **figure 22**.

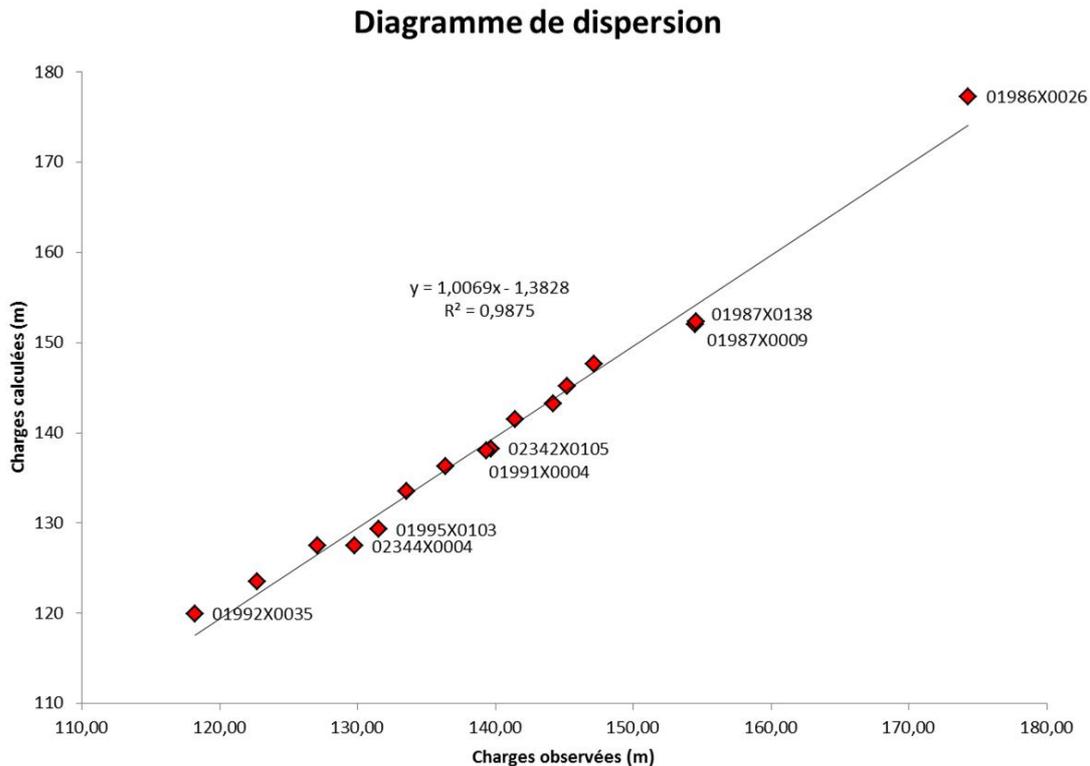


Figure 20 : Diagramme de dispersion (charges hydrauliques calculées en fonction de celles mesurées sur le terrain). Les points difficiles à caler sont localisés en deux endroits : Nord-Est, partie Ouest du sud de la Moder

On obtient un coefficient de corrélation de 0,98 avec un écart absolu moyen de 1,2 m, le modèle a ainsi été calé à 1-2 m près des mesures de terrain. Cet écart est tout à fait acceptable compte tenu de la précision du nivellement des points des fiches Infoterre, de l'effet de la discrétisation du MNT en mailles carrées de 250 m, de la quantité et de la répartition des données disponibles. Les quelques points difficiles à caler avec des écarts de 2 à 4 m par rapport aux mesures de terrain sont localisés dans la partie Nord-Est (3), à l'Ouest autour de la Moder (3) en bordure Sud-Est (2). Ces erreurs peuvent vraisemblablement être corrigées par l'apport d'informations nouvelles sur l'importance du rôle drainant de la Moder en amont de Haguenau et la validation de la représentativité des deux ouvrages situés dans la partie Sud-Est. Le nivellement du puits 01991X004 a posé problème. La cote

IGN, lue sur la carte topographique et comparée à des repères de nivellement proches, a été privilégiée par rapport à la cote Infoterre.

Les cartes des débordements et des mailles dénoyées sont données en **annexe 14**. Les quelques mailles sèches représentent des charges calculées inférieures à moins d'un mètre du mur de l'aquifère. Elles sont toutes localisées à l'Ouest, au Sud de la Moder et entre l'Halbmuehlbach et l'Eberbach, et sont liées à une remontée du toit des marnes. De nombreux débordements sont observés notamment dans la forêt de Haguenau et au Nord de la Sauer. L'apport de nouvelles données (forages, hydrologie) permettrait d'ajuster les paramètres.

V.11. Limites du modèle

La mise en place de ce modèle se heurte à des zones de données manquantes ou imprécises. L'attribution des potentiels imposés repose sur la carte piézométrique interprétée ce qui entraîne des imprécisions, notamment sur la bordure Ouest où les isopièzes ont été interprétées parallèlement à la bordure.

Le modèle fait face à de nombreux effets de bords tels que des variations brutales du MNT qui ont posé de nombreux problèmes de continuité de l'écoulement. En bordure Ouest, ce sont les contreforts vosgiens qui entraînent ces variations tandis qu'au Sud et à l'Est, c'est la terminaison de la terrasse de Haguenau qui forme un relief élevé de 10 m environ par rapport à la plaine rhénane. Ces variations ont exigé l'exclusion de certaines mailles de bordure et l'adaptation de la cote du mur de l'aquifère pour contrebalancer ces discontinuités. Ces fluctuations combinées à la faible épaisseur de l'aquifère à l'Ouest contraignent énormément le modèle.

L'encaissement des cours d'eau et leur rôle drainant ont peut-être été sous-estimés. Des profils en long plus précis des cours d'eau et comprenant l'ensemble des seuils sont également à intégrer. Les zones de recharge ainsi que les valeurs attribuées basées sur des données d'archives sont peut-être surestimées. L'apport d'informations complémentaires permettrait peut-être d'éviter les débordements observés. D'autre part, le nivellement de certains piézomètres utilisés pour la campagne s'avère nécessaire car la précision y est parfois de l'ordre du mètre.

Le modèle a dû être construit en monocouche et représente donc une version encore plus simplifiée de la réalité puisqu'au moins deux couches sont présentes sur le secteur. D'autre part, les charges calculées dans les zones lœssiques montrent qu'elles sont supérieures à la base des lœss, ce qui confirmerait la semi-captivité de la nappe. Cependant, l'hypothèse d'une nappe libre et donc d'une transmissivité variable est considéré dans le modèle. Un ajustement est donc à prévoir.

L'interpolation réalisée du toit des marnes a été réalisée à partir de données géophysiques et l'interprétation complémentaire a été estimée. La structure du toit des marnes est donc imprécise, plus particulièrement à l'Est de la forêt de Haguenau et au Sud qui manquent d'informations.

La continuité des argiles est une hypothèse basée sur les différents ouvrages situés dans ces zones. Si la continuité des argiles au Nord-Est du secteur n'est pas avéré, il se peut que la perméabilité y soit plus forte ce qui éviterait peut-être les débordements observés en amont de cette zone.

VI. Optimisation du réseau piézométrique

VI.1.1. Objectifs

La finalité de cette étude est la mise en place d'un réseau d'ouvrages de suivi, représentatif de la nappe du Plio-Quaternaire. L'optimisation du nombre d'ouvrages se base sur une précédente étude du BRGM (URBAN S., 2010) qui avait préconisé 15 ouvrages dont 6 ouvrages existants de l'APRONA sur la superficie de la terrasse de Haguenau. Les points de la campagne piézométrique de 2012 ont donc fait l'objet d'une analyse afin de sélectionner les ouvrages de manière à ce qu'ils soient représentatifs de la nappe et spatialement bien répartis. Cette analyse permet notamment d'éliminer des ouvrages situés dans des parties de l'aquifère localement particulières (présence de nappe perchée, lentilles d'argiles,...).

Le choix des ouvrages se base sur deux scénarios décrits dans les deux paragraphes suivants.

VI.1.2. Scénario 1

Dans ce premier scénario, le nombre de points préconisés par le BRGM est conservé soit 15 points. Les emplacements des points à créer proposés par le BRGM ont été pris comme référence pour la recherche d'ouvrages alentours représentatifs de la nappe. Le choix de ces ouvrages est basé en priorité sur ceux ayant fait l'objet de mesure du niveau de la nappe qu'ils aient servi ou non pour l'élaboration de la carte piézométrique de 2012. Leur représentativité a été jugée en analysant le plus souvent les coupes techniques des forages et sondages alentours, les piézomètres et puits ne disposant que très rarement de logs géologiques. La profondeur atteinte est déterminante car elle permet d'éliminer des ouvrages uniquement superficiels n'atteignant pas le Pliocène.

La carte des ouvrages retenus dans le cadre de ce scénario est donnée dans la **figure 21** suivante où sont délimitées les unités hydrogéologiques définies dans cette étude.

Les ouvrages existants figurant dans le rapport (URBAN S., 2010) et suivi par l'APRONA ont été conservés, ils sont au nombre de 6. Ces ouvrages, symbolisés par un carré vert, sont positionnés de manière régulière au Sud de la Moder et possèdent une mesure piézométrique cohérente avec les précédentes données. Les 9 ouvrages restants préconisés par le BRGM avaient été placés de manière fictive dans l'étude de 2010, ils ne représentent pas un ouvrage existant mais un emplacement adéquat du point de vue de la répartition spatiale et sont symbolisés par un rond gris. A partir de ces emplacements, des ouvrages alentours existants susceptibles d'être représentatifs de la nappe et du découpage en unités hydrogéologiques ont été recherchés. Lorsqu'un ouvrage est proche et situé dans la même unité que l'ouvrage préconisé par le BRGM, cet ouvrage est localisé par un rond bleu. Il est étiqueté de manière à déterminer quel ouvrage préconisé par le BRGM il remplace. En revanche, si aucun ouvrage proche des préconisations du BRGM n'a été trouvé, l'emplacement est gardé et le point est marqué comme étant à créer (point rouge).

Les caractéristiques des ouvrages existants et les préconisations pour les nouveaux ouvrages, en particulier la profondeur réelle ou estimée de la base du Quaternaire et du Pliocène, sont synthétisées dans le tableau **XX**.

A l'issue de cette analyse, ce premier scénario permet de préconiser le suivi de 15 ouvrages : 13 ouvrages existants dont 6 de l'APRONA, et 2 à créer. Le point à créer n°7 est indispensable pour acquérir davantage d'informations sur la forêt de Haguenau. En effet, les quelques ouvrages présents dans la zone, selon les données Infoterre, ne sont pas exploitables le plus souvent parce qu'ils n'ont pas été retrouvés. Le point à créer n°1 est à discuter car la zone est complexe de part la présence de nombreuses failles, il faut donc choisir son emplacement judicieusement. Le piézomètre 02344X0004 de l'APRONA est à mettre sous réserve car seul le niveau piézométrique a permis de vérifier sa cohérence par rapport aux données piézométriques de 1991, puisqu'aucun ouvrage proche n'a permis de valider les couches traversées.

VI.1.3. Scénario 2

Dans ce deuxième scénario, des ouvrages supplémentaires sont ajoutés au nombre préconisé par l'étude du BRGM. Leur ajout résulte non seulement du découpage en unités hydrogéologiques mais aussi de la modélisation qui a entraîné des réflexions sur certaines zones exclues de la nappe auparavant. Le choix de ces nouveaux ouvrages, essentiellement situés dans la partie Ouest est basé en priorité sur ceux ayant fait l'objet d'une mesure pour la campagne de reconnaissance. Comme pour le scénario 1, la représentativité de ces ouvrages a été jugée en fonction de la profondeur atteinte et des forages alentours disposant de logs géologiques.

Ces nouveaux ouvrages sont, soit des ouvrages existants visités ou non pour la campagne piézométrique, soit des ouvrages à créer, et sont représentés sur la carte de la **figure 22**.

Les nouveaux ouvrages sont symbolisés avec un triangle et ont été ajoutés aux ouvrages du scénario 1. Parmi les 8 ouvrages supplémentaires, 4 sont existants dont 2 de l'APRONA et 4 sont à créer. Les deux ouvrages supplémentaires existants de l'APRONA ne figuraient pas sur l'étude du BRGM. Ils n'ont peut-être pas été pris en considération car trop proches de la limite Est de la nappe du Plio-Quaternaire. Parmi ces deux ouvrages, des réserves sont à émettre sur le piézomètre 01995X0030 car la coupe technique montre qu'il n'atteint pas les sables pliocènes. Toutefois, il pourrait être représentatif de la nappe si ces sables quaternaires sont indifférenciés de ceux du Pliocène, ce que semblent indiquer les sondages alentours. Des vérifications sont donc nécessaires pour juger de la représentativité de ce piézomètre vis-à-vis de la nappe Plio-Quaternaire. Les ouvrages 1 et 7 du scénario 1 ont été déplacés, le premier pour être représentatif d'une unité et le deuxième de manière à ne pas être trop proche d'un cours d'eau. L'ouvrage n°10 permet de prendre en compte la zone sous couverture lœssique au sud de la faille de Pechelbronn.

De même que dans le scénario 1, les caractéristiques des ouvrages existants et les préconisations pour les ouvrages supplémentaires à créer sont synthétisées dans le tableau en **annexe 16**.

VI.1.4. Scénario préconisé

Le nombre d'ouvrages préconisés par le BRGM souffre de lacunes dans la partie Ouest de la forêt de Haguenau. Pour obtenir un suivi représentatif de la nappe, il faudra donc considérer le scénario 2.

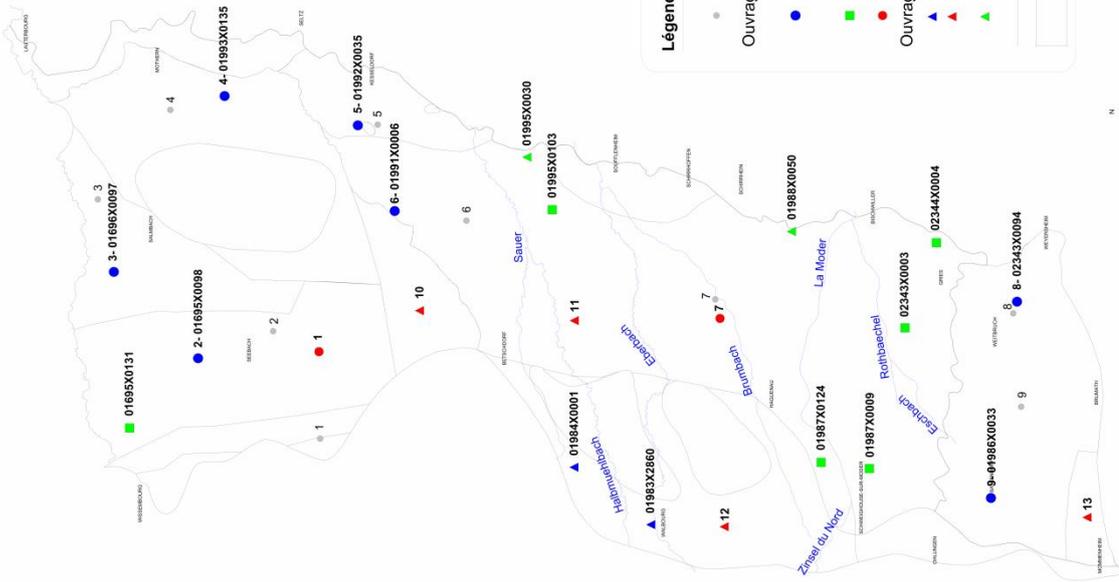
D'après les résultats de la modélisation, la nappe serait continue dans les zones définies par le BRGM. Compte tenu de ce résultat, il paraît donc indispensable d'avoir au moins un ouvrage de suivi de la nappe dans la zone Ouest de la forêt de Haguenau. Le puits 01984X0001 est exploitable mais le puits plus au Sud, 01983X2860, n'a pu être visité au moment de la campagne de reconnaissance, la zone étant en travaux. Cette partie Ouest ayant fait l'objet de nombreux forages pétroliers, peu de puits sont exploitables. Ainsi l'ouvrage supplémentaire n°12 est vraisemblablement à prévoir s'il s'avère que le puits 01983X2860 est inexploitable.

Par ordre de priorité, il conviendra de créer avant tout les ouvrages 7 et 10 et de vérifier le puits 01983X2860 avant d'envisager la création du n°12. L'ouvrage n°1 est situé dans la zone faillée du fossé de bordure dont le bloc tectonique directement au Nord a fait l'objet d'un modèle hydrodynamique dans l'étude de 2001 (BROST E.) revue en 2012 (BURKHART O.). L'utilité de suivre ce bloc tectonique est à discuter si la continuité de l'écoulement n'est pas avérée.

Cela correspondrait donc à un réseau de 18 points au minimum

Point de mesure théorique	Point sélectionné	Préconisation rapport optimisation	Scénario 1	Scénario 2	Scénario préconisé	Profondeur minimale pour atteindre le Pliocène		Profondeur minimale pour atteindre les marnes		Unité hydrogéologique	Remarque
						Estimée	Réelle	Estimée	Réelle		
01695X0131	01695X0131	oui	oui	oui	oui	< 1m	< 1m	-	70 m	Fossé de bordure à 3 aquifères	
Point 1	A créer	oui	oui légèrement déplacé	oui	oui			12 m	12 m	Pliocène peu épais	N'atteignent pas le Pliocène
Point 2	01695X0098	oui	oui	oui	oui	25 m	25 m	104 m	104 m	Fossé de bordure à 3 aquifères	
Point 3	01696X0097	oui	oui	oui	oui	5-10 m	5-10 m	50 m	50 m	Zone à 2 aquifères	
Point 4	01993X0135	oui	oui	oui	oui	20 m	20 m	60-70 m	60-70 m	Pliocène peu épais sous couverture loessique importante	
Point 5	01992X0035	oui	oui	oui	oui	12 m	12 m	40-60 m	40-60 m	Zone à fraction argileuse importante	
Point 6	01991X0004	oui	oui	oui	oui	< 1m	< 1m	100 m	100 m	Alluvions vosgiennes peu épaisses sur Pliocène	
01995X0103	01995X0103	oui	oui	oui	oui	5-10 m Quaternaire indifférencié	5-10 m Quaternaire indifférencié	70 m	70 m	Alluvions vosgiennes peu épaisses sur Pliocène	
Point 7	A créer	oui	oui légèrement déplacé	oui	oui	12 m	12 m	70 m	70 m	Alluvions vosgiennes peu épaisses sur Pliocène	Pas d'ouvrages alentours
01987X0124	01987X0124	oui	oui	oui	oui	< 5m	< 5m	10 m	10 m	Sables Pliocène quaternaires indifférenciés peu épais sur marnes	
01987X0009	01987X0009	oui	oui	oui	oui	< 5 m	< 5 m	20-25 m	20-25 m	Alluvions vosgiennes peu épaisses sur Pliocène	
02343X0003	02343X0003	oui	oui	oui	oui	Souvent Quaternaire indifférencié	Souvent Quaternaire indifférencié	80-90 m	80-90 m	Alluvions vosgiennes peu épaisses sur Pliocène	
02344X0004	02344X0004	oui	oui	oui	oui	Sub-affleurant	Sub-affleurant	90 m	90 m	Alluvions vosgiennes peu épaisses sur Pliocène	
Point 8	02343X0094	oui	oui	oui	oui	20-30 m	20-30 m	110-120 m	110-120 m	Loess ancien épais sur Pliocène	
Point 9	01986X0033	oui	oui	oui	oui	20-30 m	20-30 m	60-70 m	60-70 m	Loess ancien épais sur Pliocène	Susceptible d'atteindre le Pliocène
Point 10	A créer	non	non	oui	oui	15-20 m	15-20 m	80-90 m	80-90 m	Loess ancien épais sur Pliocène	
01984X0001	01984X0001	non	non	oui	oui	Absent	Absent	5-10 m	5-10 m	Quaternaire peu épais sur marnes	Représentativité à vérifier
01995X0030	01995X0030	non	non	oui	oui	10-20 m	10-20 m	70 m	70 m	Alluvions vosgiennes peu épaisses sur Pliocène	
01983X2860	01983X2860	non	non	oui	oui	Quaternaire uniquement	Quaternaire uniquement	3-5 m	3-5 m	Quaternaire peu épais sur marnes	
Point 11	A créer	non	non	oui	oui	Quaternaire indifférencié	Quaternaire indifférencié	5 m	5 m	Alluvions vosgiennes peu épaisses sur Pliocène	
Point 12	A créer	non	non	option si 01983X2860 inexploitable	option si 01983X2860 inexploitable			5 m	5 m	Sables Pliocènes et quaternaires indifférenciés peu épais sur marnes	
01988X0050	01988X0050	non	non	oui	oui	5-10 m	5-10 m	10-20 m	10-20 m	Alluvions vosgiennes peu épaisses sur Pliocène	
Point 13	A créer	non	non	oui	oui	15 m pour être sous les argilles	15 m pour être sous les argilles	50-60 m	50-60 m	Zone à fraction argileuse importantes	

Point du réseau piézométrique



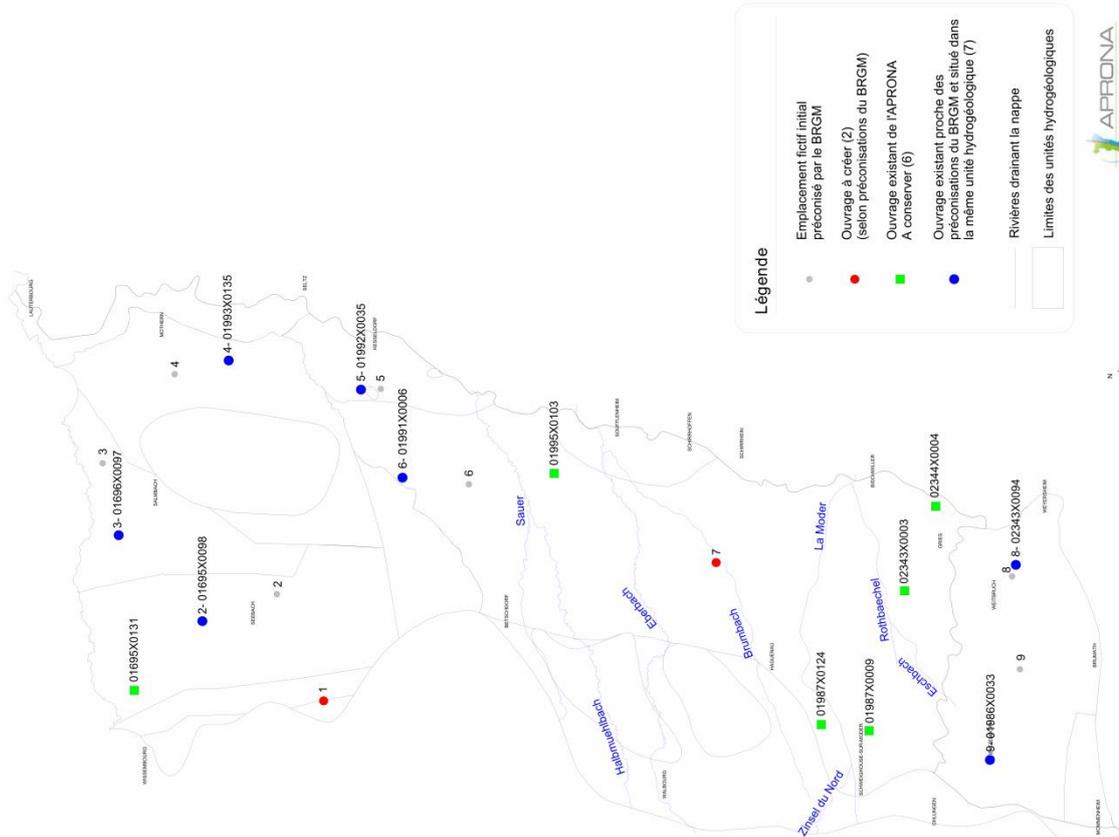
Légende

- Emplacement ficif initial préconisé par le BRGM
- Ouvrages du scénario 1
 - Ouvrage existant proche des préconisations du BRGM et situé dans la même unité hydrogéologique (7)
 - Ouvrage existant de l'APRONA A conserver (6)
 - Ouvrages à créer (2)
 - ▲ Ouvrages supplémentaires
 - ▲ Ouvrage existant (2)
 - ▲ Ouvrage à créer (4)
 - ▲ Ouvrage existant de l'APRONA Sous réserve (2)
- ▭ Limites des unités hydrogéologiques

APRONA
www.aprona.net

Conception : APRONA
Rédaction : APRONA - Emile TRIDON
Coordination : APRONA - Emile TRIDON
Données : APRONA, BRGM, BRGM, Agence de l'Eau Rhin-Meuse
Fond de carte : ©IGN BD Cartho / BD Carthage
Août 2012

1 : 180 000



Légende

- Emplacement ficif initial préconisé par le BRGM
- Ouvrage à créer (2) (selon préconisations du BRGM)
- Ouvrage existant de l'APRONA A conserver (6)
- Ouvrage existant proche des préconisations du BRGM et situé dans la même unité hydrogéologique (7)
- ▭ Limites des unités hydrogéologiques

APRONA
www.aprona.net

Conception : APRONA
Rédaction : APRONA - Emile TRIDON
Coordination : APRONA - Emile TRIDON
Données : APRONA, BRGM, BRGM, Agence de l'Eau Rhin-Meuse
Fond de carte : ©IGN BD Cartho / BD Carthage
Août 2012

1 : 180 000

Figure 24 : Carte des ouvrages préconisés pour le scénario 2. Celui-ci reprend les ouvrages du précédent scénario et prévoit la création de 6 ouvrages supplémentaires et le suivi de 8 ouvrages complémentaires au nombre préconisé par le BRGM.

VII. Conclusion et perspectives

Cette étude sur la nappe du Plio-Quaternaire de la terrasse de Haguenau-Riedseltz a abouti à des résultats qui ont permis d'apporter une synthèse, non réalisée auparavant, des connaissances existantes sur ce secteur peu étudié. La recherche bibliographique a montré une répartition inégale des connaissances sur le secteur, les environs de Haguenau étant davantage renseignés que la forêt de Haguenau ou la partie Sud de Haguenau jusqu'à Brumath par exemple. Toutefois cette recherche a permis de recueillir des données intéressantes, notamment des cartes du toit des formations, des cartes d'épaisseur, des cartes piézométriques, des données géophysiques mais aussi des informations sur les relations inter-nappe, nappe-rivière et la quantification de certains paramètres.

En se basant sur l'ensemble des coupes techniques validées des forages de la Base de données du Sous-Sol et de ces données d'archives, une synthèse a pu être réalisée sur l'ensemble du secteur. Elle a notamment abouti à la réalisation d'une carte du toit des marnes de l'Oligocène qui constitue le mur de l'aquifère Plio-Quaternaire étudié, d'une carte des iso-épaisseurs de l'aquifère et à l'interprétation de l'épaisseur du Quaternaire et des argiles lorsque ceux-ci se distinguaient du Pliocène.

La mise en place d'un réseau d'ouvrages existants jugés représentatifs de cette nappe a été effectuée dans le but de réactualiser et compléter la carte piézométrique de la situation de basses eaux de septembre 1991. Cette réactualisation a été réalisée sur les 2/3 Sud du secteur à partir des mesures sur les cours d'eau drainant la nappe et des ouvrages choisis dans lesquels le niveau de la nappe a été mesuré en juillet 2012.

Un modèle hydrodynamique de la nappe en régime permanent a pu être construit sur les 2/3 Sud du secteur à partir de l'ensemble de ces données recueillies. Ce modèle monocouche, a abouti à des résultats intéressants mais a aussi montré ses limites. Le calage du modèle est acceptable compte tenu de la précision des données d'entrée et a même permis de retrouver les ordres de grandeur recueillis dans les archives des flux de déversements de la nappe Plio-Quaternaire dans la nappe rhénane. Les paramètres tels que la recharge et la conductivité hydraulique sont également cohérents avec les ordres de grandeurs donnés dans les archives. Après discussion, les zones d'absence de nappe délimitées à l'Ouest ont été écartées du modèle, leur présence causant un frein à l'écoulement qui n'est pas observé dans les ouvrages mesurés. Le modèle est toutefois limité par des données imprécises sur les conditions aux limites, sur la répartition et la valeur des zones de recharge, et sur les caractéristiques des cours d'eau (encaissement, conductance). De même, les faibles épaisseurs de l'aquifère à l'Ouest combinées aux variations importantes du MNT dues à la discrétisation ont entraîné des problèmes de continuité d'écoulement. L'interprétation du toit des marnes, basée uniquement sur des mesures géophysiques lorsqu'aucun forage n'est présent, demande peut-être aussi à être affinée et les cours d'eau davantage étudiés.

La finalité de cette étude a été l'élaboration d'un réseau d'ouvrages de suivi quantitatif de la nappe. L'ensemble des informations recueillies ont permis d'établir qu'au moins 18 ouvrages sont nécessaires pour obtenir un suivi représentatif de la nappe du Plio-Quaternaire. Dans cette optique, au moins 3 nouveaux ouvrages sont donc à créer.

VIII. Webographie et bibliographie

http://eduterre.ens-lyon.fr/eduterre-usages/ressources_gge/fossrh/complements : histoire formation fossé rhénan

artic.ac-besancon.fr/svt/act_ped/.../diaporama_fosse_rhenan.pps : histoire du fossé rhénan

infoterre.brgm.fr/ : Système d'Information Géographique répertoriant, entre autres, l'ensemble des points de la Base de données du Sous-Sol (BSS)

brar.brgm.fr/ : Système d'Information Géographique répertoriant l'ensemble des points d'eau de la Base de données du Sous-Sol (BSS)

<http://www.swstechnology.com/groundwater-modeling-software/visual-modflow-flex> : Site du développeur du logiciel de modélisation de l'écoulement des nappes d'eau souterraine

ARCHAMBAULT.J. (1952). La nappe pliocène au Sud-Ouest de Haguenau (Bas-Rhin). 15 pages.

BABOT Y. (24 septembre 1982). Projet de création d'une décharge de résidus urbains à Weitbruch. Enquête hydrogéologique réglementaire. Commanditaire : ALSACE-ENVIRONNEMENT. 6 pages. 3 annexes.

BABOT Y., KREBS G. (29 septembre 1982). Etude des possibilités d'implantation d'un centre de captage de 300 à 500 m³/h dans la nappe des sables pliocènes à proximité de Haguenau.

BIRTLE C., ELSASS P. (2006). Banque Régionale de l'Aquifère Rhénan. Programme 2003-2006. Rapport final. Rapport BRGM/RP-54876-FR, 104 p., 46 fig., 4 annexes

BROST E. et al. (2001). INTERREG II. Projet transfrontalier d'alimentation en eau potable. Etudes hydrogéologiques qualitatives et quantitatives des ressources en eaux profondes de la forêt de Bienwald. 119 pages. 83 figures. 8 annexes.

BURKHART O. et al. (2012). INTERREG IV A 2008-2012. Gestion transfrontalière de l'approvisionnement de l'eau potable dans le Palatinat du Sud et en Alsace du Nord 2008-2030. 122 pages. 5 cartes. 6 annexes.

DAESSLE.M. (1993). Mise en place d'un réseau de contrôle de la qualité des eaux souterraines aux carrières de Kesseldorf (Bas-Rhin). Analyse physico-chimique des eaux superficielles pour le compte de BISCH-MARLEY SOCIETE.

DAESSLE.M (1993). Mise en place d'un réseau de contrôle des eaux souterraines au centre d'incinération des ordures ménagères de Schweighouse sur Moder. Commanditaire : SMICTOM SECTEUR HAGUENAU-SAVERNE. Rapport BRGM.

DE BAULNY H. (février 1966). La Moder. Etude hydrologique. Faculté des Sciences de Paris. Service du Génie Rural du Bas-Rhin. 123 pages. 5 cartes.

FRAUEL J.P. (1960). Etude de la nappe aquifère des formations pliocènes et quaternaires des environs de Haguenau. 20 pages. 3 cartes.

GENDRIN P., MIGAYROU J. (juin 1969). Régime interannuel des débits et hautes eaux. Rapport du service de l'aménagement des eaux. Région Alsace.

- GRAILLAT.A. (2003). Alimentation en eau potable du syndicat - Projet de création d'un nouveau forage à Weitbruch (Bas-Rhin) à proximité du forage existant. Département du Bas-Rhin - Syndicat Intercommunal des Eaux de Hochfelden et Environs. 26 pages
- GRANDAROWSKI G. (21 mars 1985). Création d'un nouveau cimetière à Batzendorf. Enquête hydrogéologique réglementaire. 3 pages. 2 cartes.
- KREBS G. (24 septembre 1990). Etude de l'impact hydrogéologique du projet d'exploitation des sables pliocènes à BATZENDORF. 17 pages. 7 figures. 3 annexes
- KREBS G. (1991). Détermination par modèle mathématique de l'impact hydrogéologique du projet d'exploitation des sables pliocènes à Batzendorf (67). Rapport BRGM pour le compte de la société QUARTZ DE HAGUENAU. 31 pages. 7 photos. 8 cartes.
- LUBW (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden – Württemberg) (juillet 2006). INTERREG III A : MONIT « Modélisation de la pollution des eaux souterraines par les nitrates dans la vallée du Rhin Supérieur ». Structure hydrogéologique et caractéristiques hydrauliques. 182 pages.
- MILLOT G. (1960). Etude hydrogéologique de la nappe des sables pliocènes dans la région de Haguenau – Alimentation complémentaire de Haguenau et Bischwiller. Rapport du SGAL pour le Syndicat des Eaux de Haguenau. 7 pages. 10 cartes.
- MOREL G., UNGEMACH P. (25 juin 1971). Etude hydrogéologique préliminaire à la simulation sur modèles mathématiques et analogiques. Etude hydrodynamique de la nappe des formations Pliocène de la région de Haguenau. Rapport du Ministère de l'Agriculture Direction Départementale de l'Agriculture du Bas-Rhin. 9 pages. 8 annexes. 5 cartes.
- ROSE.P. (1992). Carrière des Bois de l'Hôpital à Kesseldorf (Bas-Rhin). Etude de la vulnérabilité des eaux souterraine au droit des installations. Définition d'un réseau de contrôle pour le compte de BISCH-MARLEY SOCIETE.
- ROSE.P. (Octobre 1992). Décharge contrôlée de Weitbruch. Implantation et réalisation d'un second piézomètre de contrôle aval. Commanditaire : SMITOM SECTEUR HAGUENAU-SAVERNE. Rapport BRGM. 1 page.
- SCHWOERER P. (8 décembre 1978). Réalisation d'un nouveau forage dans le Plio-quaternaire à Soufflenheim (67). Syndicat des Eaux de Soufflenheim et environs. Rapport BRGM Strasbourg. 13 pages.
- SIMLER L. (27 août 1964). Alimentation complémentaire en eau potable de la ville de Brumath (Bas-Rhin). Rapport hydrogéologique de fin de sondage. 5 pages. 1 carte.
- SIMLER L. (février 1965). Recherche de gisements d'argile dans la région comprise entre Seltz et Hatten. Université de Strasbourg Service de la carte géologique d'Alsace et de Lorraine. 10 pages.
- SIMLER.L., GENDRIN.P. (Juillet 1974). L'Alsace et le problème de la pollution des eaux. Campagne de prélèvements et analyses. Contrôle de la qualité des eaux souterraines du secteur Seltz-Lauterbourg. Rapport BRGM SGAL, Commanditaire CIENPPA. 13 pages, 4 cartes.
- SIMLER L. (17 janvier 1975). Etude hydrodynamique de la nappe phréatique de la plaine d'Alsace. Réservoir Pliocène. Secteur Sauter Lauter. Géométrie du réservoir. Rapport du service de la carte géologique d'Alsace et de Lorraine. 12 pages. 4 cartes.
- SIMLER L. (21 mai 1975). Périmètres de protection des forages AEP du Syndicat des Eaux de Soufflenheim (67). Enquête géologique réglementaire. Université Louis Pasteur- Service de la carte géologique d'Alsace et de Lorraine. Rapport BRGM Strasbourg. 12 pages.

SIMLER.L. (1975). Rapport d'inventaire hydrogéologique - Feuille de Seltz et Wissembourg - Situation en 1974. 7 pages. 7 cartes.

SIMLER L. (25 mars 1976). Nappes phréatiques rhénane et pliocène. Piézométrie 1975. Secteur Strasbourg-Lauterbourg. Université Louis Pasteur. Service de la carte géologique d'Alsace et de Lorraine. 11 pages. 1 carte.

SIMLER L. (2 février 1977). Périmètres de protection des forages AEP de la ville de Brumath. Rapport BRGM Strasbourg. 12 pages.

URBAN S., BOUCHER J., MARDHEL V., XU D. (2010). Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA. Bassin Rhin-Meuse. Année 4. Délimitation des entités hydrogéologiques de niveaux 1, 2 et 3 en Alsace. Rapport d'étape. BRGM/RP-58091-FR.

URBAN S., GENEVIER M., GUIGNAT S. (2010). Optimisation du réseau piézométrique de la Nappe d'Alsace. Rapport du BRGM RP-58670-FR. Octobre 2010. 55 pages. 18 illustrations. 8 annexes.

Auteurs inconnus :

Notice de la carte géologique de Brumath, 1970

Notice de la carte géologique de Seltz, 1976

Notice de la carte géologique de Haguenau, 1967

Rapport du SGAL (1969). Etude hydrogéologique par prospection électrique des alluvions pliocènes de la région de Haguenau (Bas-Rhin). 10 pages, 1 carte.

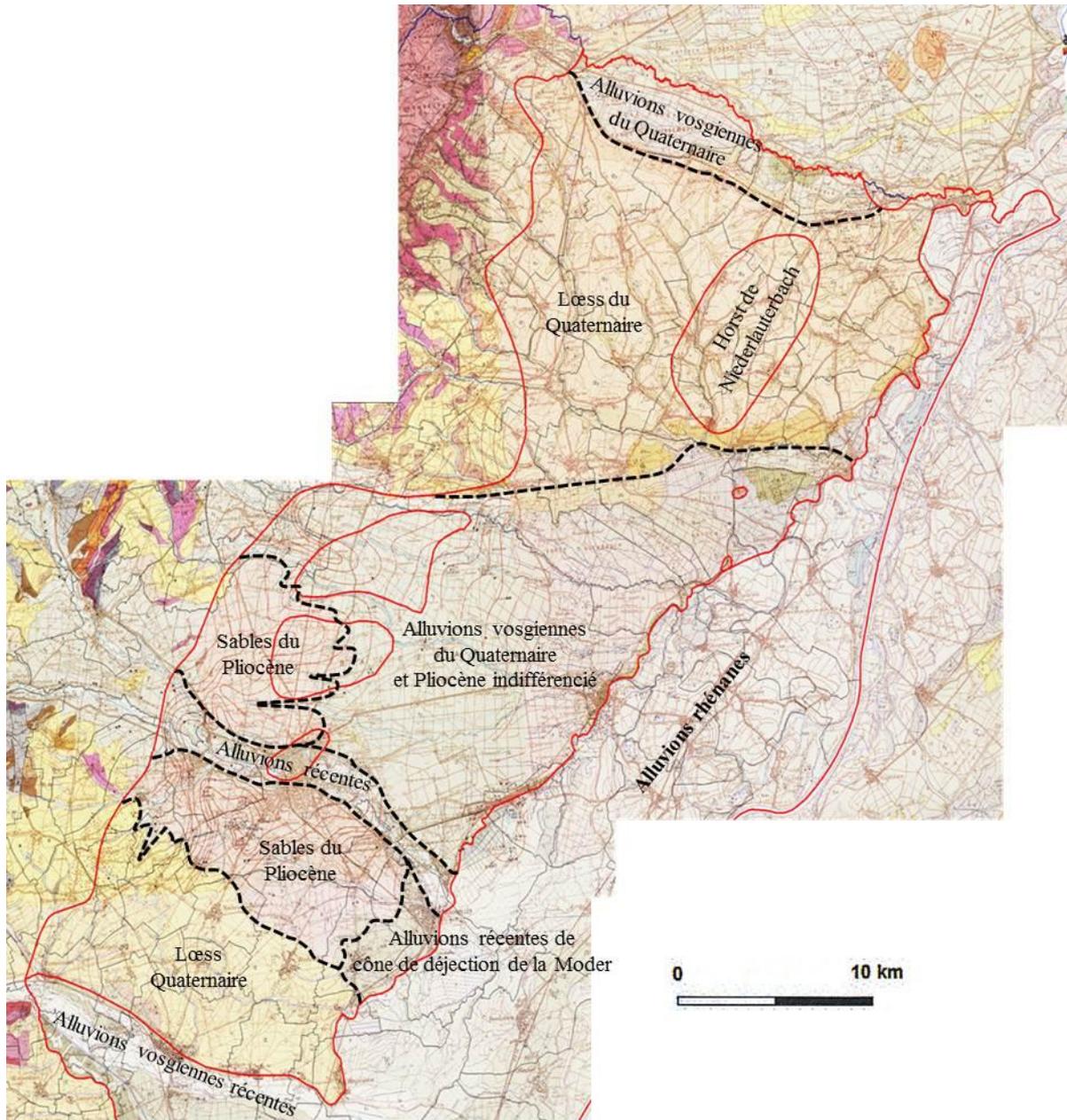
IX. Carnet d'adresses

- Stephan URBAN, hydrogéologue au BRGM Alsace
BRGM
15 rue du Tanin
67834 TANNERIES CEDEX
Tél. 03.88.77.48.92
Fax. 03.88.76.12.26
Mail : s.urban@brgm.fr
- Pauline DELETRE, Service documentation de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse
Agence de l'Eau Rhin-Meuse
BP 30019
57161 MOULINS-LES-METZ
Tél. 03.87.34.48.22
Mail : pauline.deletre@eau-rhin-meuse.fr
- Philippe ELSASS, GISOS
Tél. 03.87.17.36.60
Mail : p.elsass@brgm.fr

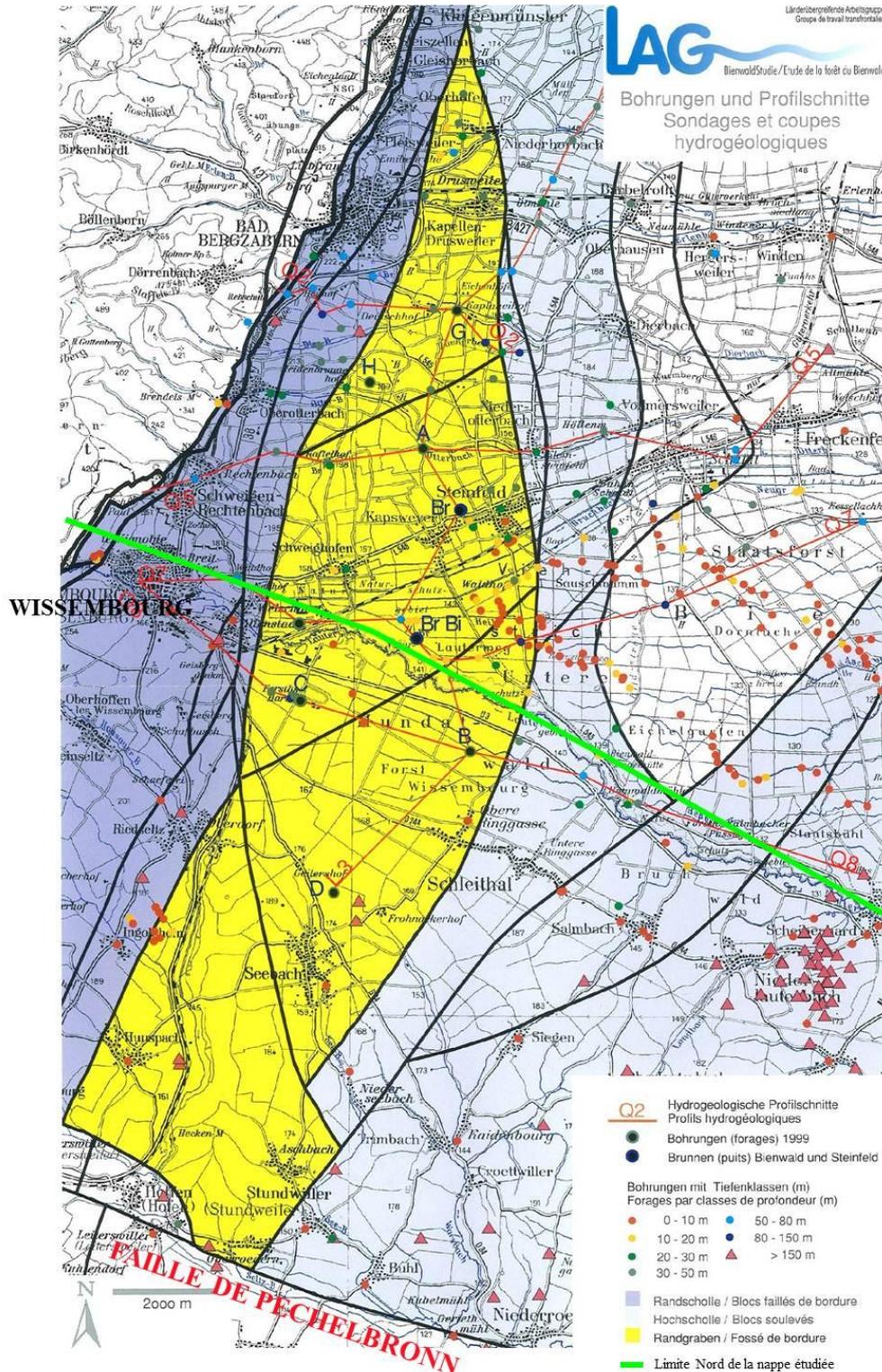
ANNEXE 1 : Extrait du tableau de synthèse des archives

	<p>Kesseldorf DAESSELE.M. (1993). Mise en place d'un réseau de contrôle de la qualité des eaux souterraines aux carrières de Kesseldorf (Bas-Rhin). Analyse physico-chimique des eaux superficielles. Commanditaire BISCH-MARLEY SOCIETE. ALS/4901</p>	<p>Soufflenheim L.SIMLER (21 mai 1975). Périmètres de protection des forages AEP du Syndicat des Eaux de Soufflenheim (67). Enquête géologique réglementaire. Université Louis Pasteur- Service de la carte géologique d'Alsace et de Lorraine. Rapport BRGM Strasbourg. 12 pages</p>	<p>Soufflenheim P. Schwoerer (8 décembre 1978). Réalisation d'un nouveau forage dans le Plio-quaternaire à Soufflenheim (67). Syndicat des Eaux de Soufflenheim et environs. Rapport BRGM Strasbourg. 13 pages. ALS/1828</p>
Quaternaire	<p>Aquifère superficiel : de 0 à 12-13 m de profondeur couches sableuses beige à blanche avec intercalations argileuses (2-4 m pour le piézomètre amont) Intercalaire argileux : 3 m d'épaisseur</p>	<p>Aquifère superficiel : Sable fin rose, gris jusqu'à 13,5 m de profondeur</p>	<p>Aquifère superficiel : Sable rose, gris, jaune avec graviers jusqu'à 9 m de profondeur => sans doute des alluvions récentes vosgiennes Intercalaire argileux : Niveau argileux à partir de 9 m jusqu'à 26 m de profondeur puis sables argileux jusqu'à 36,5 m de profondeur.</p>
Tertiaire	<p>Pliocène</p>	<p>Succession de couches sablo-argileuses et d'argiles Aquifère profond : Sable grossier et galet de 58 m à 70 m de profondeur</p>	<p>Aquifère intermédiaire : Sable gris plus ou moins argileux de 26 m à 31 m de profondeur Intercalaire argileux : de 31 m à 36,5 m de profondeur Aquifère profond : Sables à grain très fins de 36,5 à 41 m de profondeur puis sables de plus en plus grossiers avec modules argileux à partir de 41 m de profondeur jusqu'au toit du substratum. Intercalaire argileux : Niveau argileux à la base du Pliocène : 2 m d'épaisseur de 61 m de profondeur jusqu'au toit du substratum</p>
	<p>Oligocène - Miocène Eocène</p>	<p>Substratum non atteint</p>	<p>Substratum de marnes argileuses atteint à 63 m de profondeur</p>
Failles et inclinaison des couches			
Caractéristiques de la nappe (cote substratum, épaisseur,...)	<p>Écoulement de la nappe vers le SE avec un gradient de 2 ‰ Toit de la nappe pliocène à 8-11 m au droit du site étudié Nappe Pliocène se déverse dans la nappe rhénane au niveau du talus séparant terrasse pliocène et rhénane Nappe superficielle perchée au droit de la carrière : toit entre 50 cm et 1,5 m de profondeur, s'écoule vers l'E et s'infiltré dans la nappe Pliocène Niveaux statiques de l'aquifère pliocène (nappe semi-captive) : - piézo aval : 12 m par rapport au sol - piézo amont : 16,65 m par rapport au sol (d'après rapport) 11,65 m d'après la coupe du forage => d'après mesure rapport, écoulement d'O en E vérifié avec gradient de 2,5 ‰</p>	<p>Aquifère superficiel de 7 m à 13,5 m => capacité d'exploitation faible Aquifère profond de 58 m à 70 m de profondeur Niveau de la nappe profonde : 15 m de profondeur => nappe captive</p>	<p>Aquifère sableux peut être sollicité sur 20 m d'épaisseur Nappe perchée de couverture puissante de 9 m Niveau statique de la nappe superficielle : 3,5 m de profondeur Niveau de la nappe intermédiaire : 5,4 m de profondeur Niveau de la nappe profonde : 7 m de profondeur => nappe captive</p>
	Documents disponibles	Photocopie	Photocopie
Remarques			

ANNEXE 2 : Carte géologique du secteur

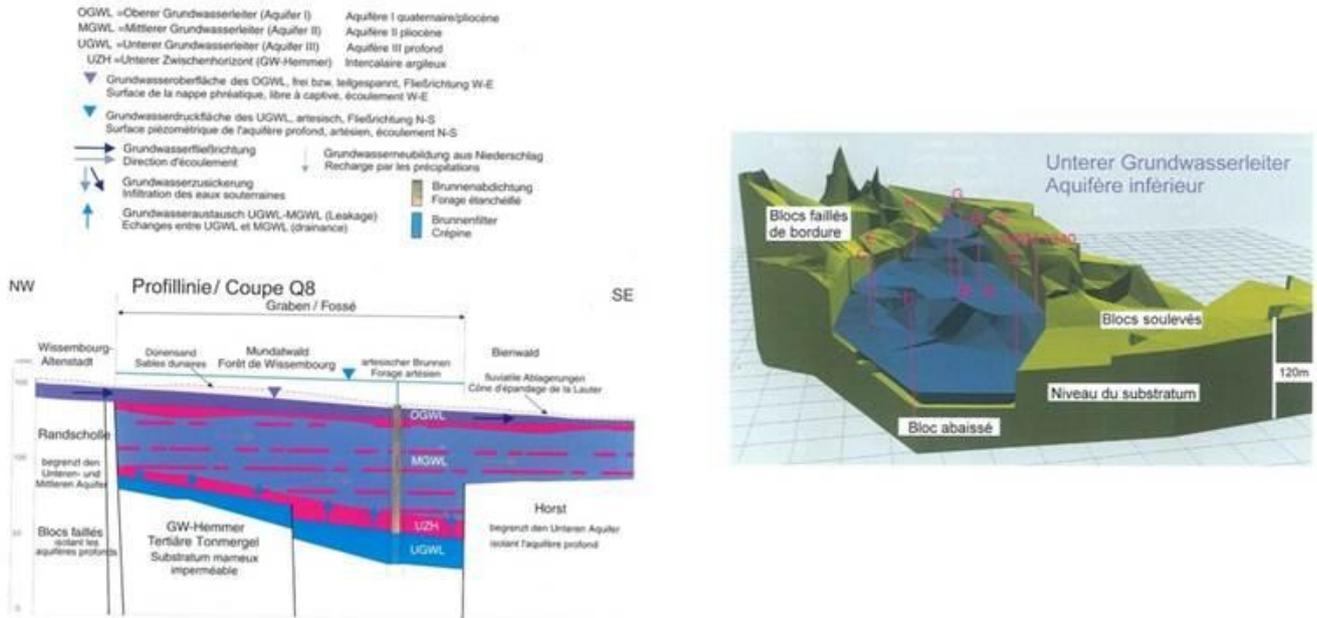


ANNEXE 3 : Fossé de bordure de la forêt de Bienwald



Carte localisant dans le Nord du secteur étudié le fossé de bordure (en jaune), les blocs soulevés ainsi que l'agencement des failles du Nord du secteur. La faille de Pechelbronn marque la limite Sud du fossé de bordure. La ligne figurée en vert montre la limite Nord du secteur étudié dans le cadre de ce rapport. Source : carte issue du rapport sur la forêt de Bienwald (BROST E. et al., 2001) sur laquelle ont été ajoutées la localisation de la faille de Pechelbronn et la limite française de la nappe du Plio-Quaternaire.

ANNEXE 4 : Coupe hydrogéologique dans la zone d'étude Bienwald

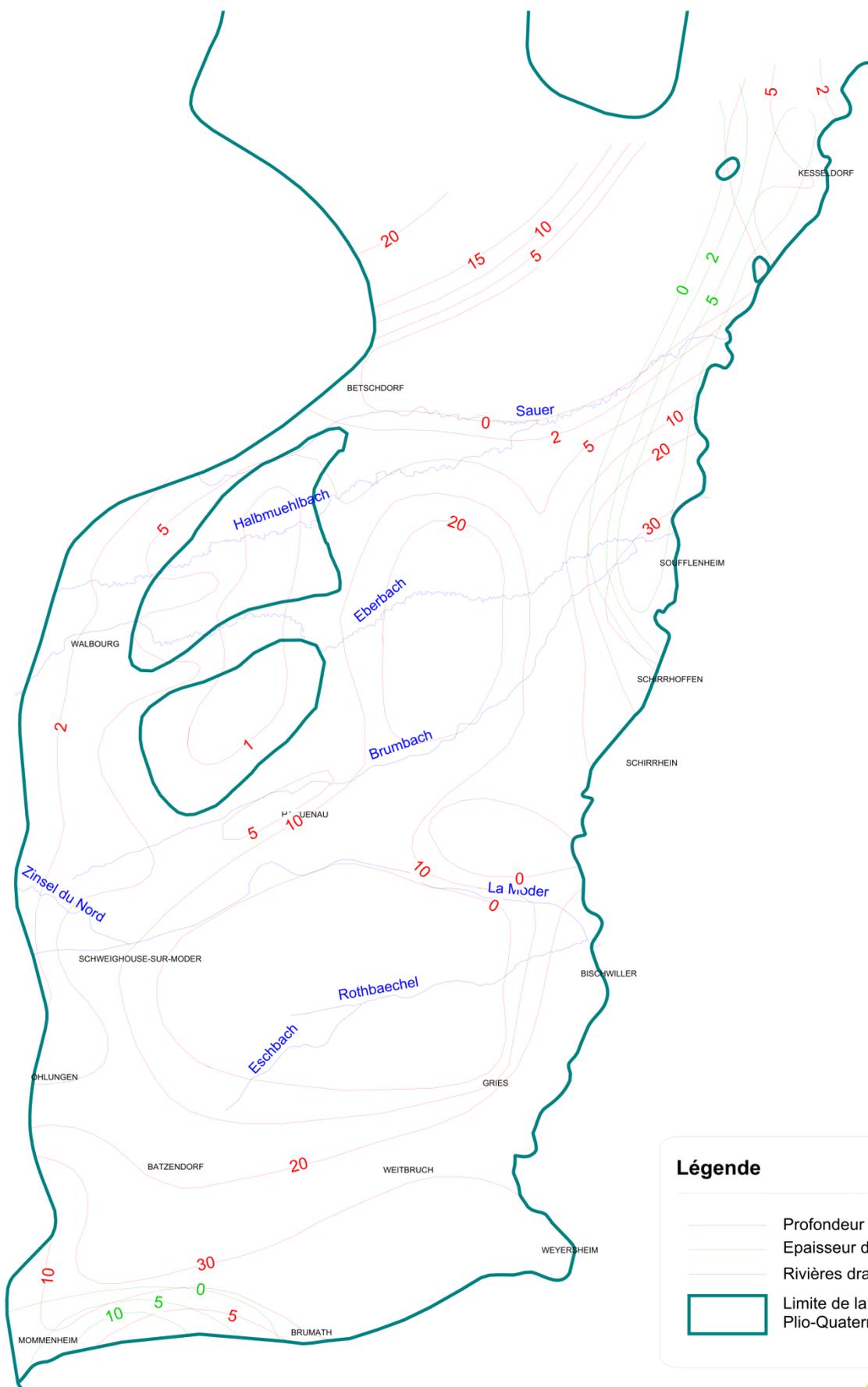


A droite coupe hydrogéologique illustrant les écoulements et les échanges entre les différents aquifères. A gauche, modèle 3D montrant la structure du fossé de bordure. L'aquifère inférieur, représenté en bleu est cantonné dans ce fossé. Source : BROST E. et al., 2001

ANNEXE 5 :

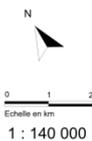
Carte de la profondeur de la base du Quaternaire et de l'épaisseur des argiles

Profondeur de la base du Quaternaire et épaisseur des argiles



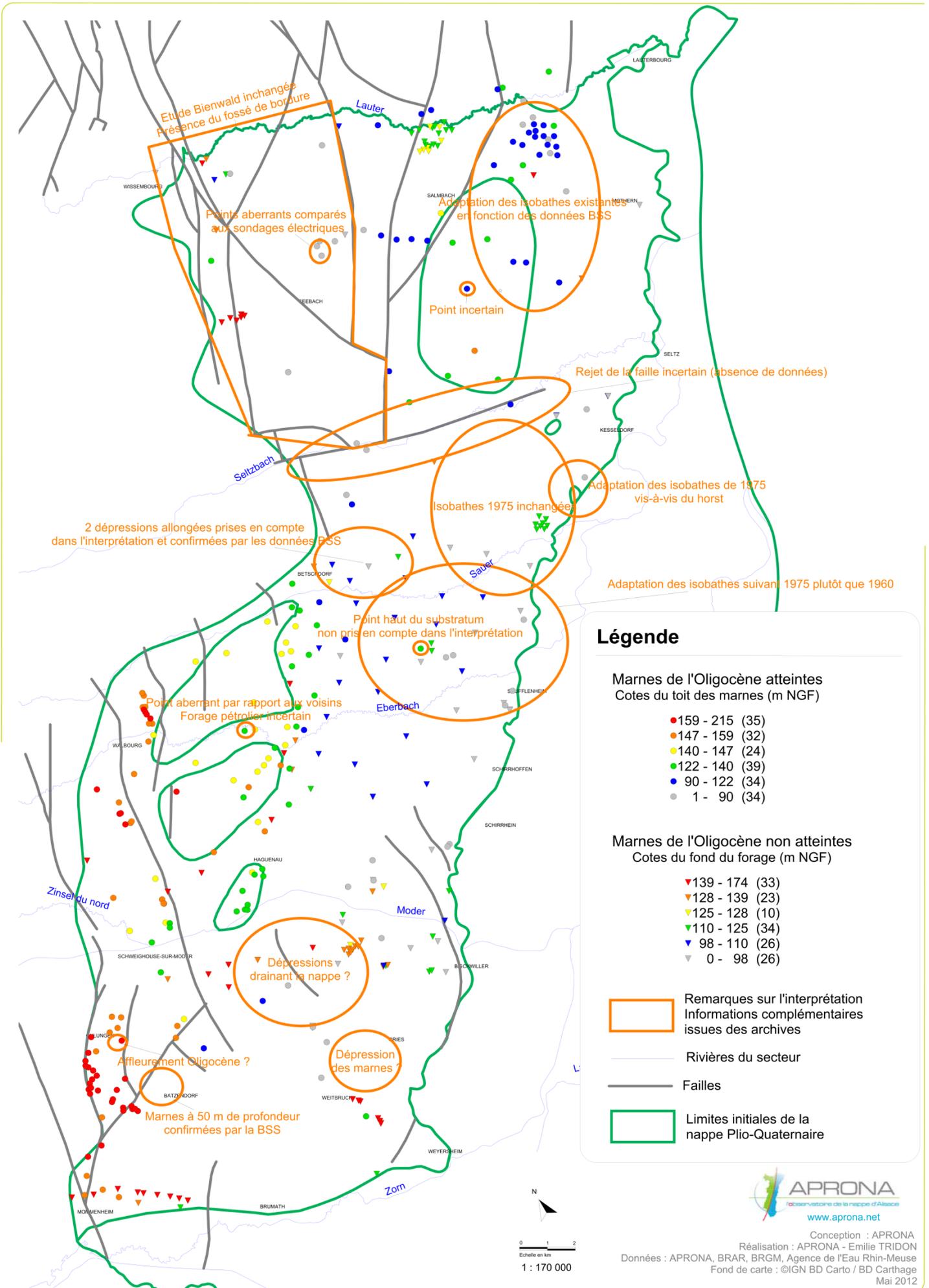
Légende

- Profondeur du Quaternaire (m)
- Épaisseur des argiles (m)
- Rivières drainant la nappe
- Limite de la nappe Plio-Quaternaire



ANNEXE 6 :
Cartes et notices détaillées

Synthèse des remarques sur le toit des marnes de l'Oligocène



Notice explicative de la carte du toit des marnes oligocènes

Méthode générale de tracé des isobathes

Les isobathes du toit de l'Oligocène, représentant le mur de l'aquifère Pliocène, ont été tracées à partir des différents types d'informations figurant sur une carte d'analyse thématique rassemblant l'ensemble des informations sur le toit des marnes de l'Oligocène. Cette carte localise et différencie les ouvrages de la BSS ayant atteint le toit des marnes où la cote a été indiquée. La cote du toit des marnes a été indiquée pour ces ouvrages tandis que pour les ouvrages ne les ayant pas atteints, la cote du fond du forage a été prise en compte.

Dans les zones disposant uniquement de données BSS, les isobathes ont été tracées par interpolation linéaire entre les points de données proches. Lorsque le lien entre deux isobathes de même cote n'est pas certain ou que l'Oligocène n'a pas été atteint, les lignes ont été figurées en pointillés. Les ouvrages n'ayant pas atteint le toit des marnes ont été figurés car la cote du fond du forage permet d'avoir une idée de la cote maximale en-deçà de laquelle on peut trouver les marnes de l'Oligocène comme le montre la figure ci-dessous. En revanche, dans les zones d'absence de données BSS, les isobathes issues de mesures géophysiques ont été reprises sans modification.

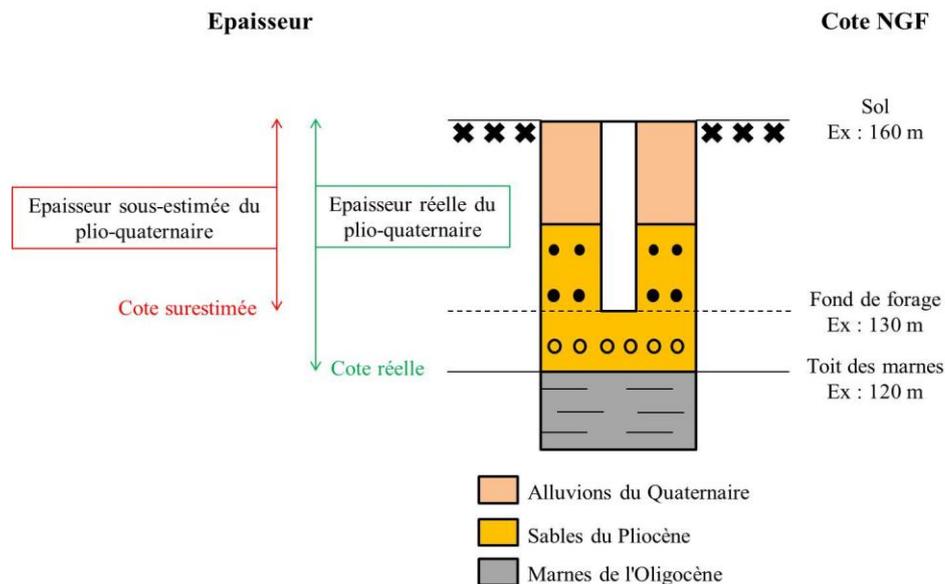


Schéma explicatif de la surestimation de la cote du toit des marnes de l'Oligocène. Si le toit des marnes n'est pas atteint par le forage, ce dernier permet néanmoins d'estimer une cote maximale pour le mur de l'aquifère et donc une épaisseur minimale au recouvrement Plio-Quaternaire.

La cohérence de l'interprétation a été jugée au fur-et-à-mesure en tenant compte des informations générales des archives sur les variations de la cote NGF du toit des marnes oligocènes. Lorsque deux types d'informations étaient disponibles, notamment les isobathes issues des données de 1960 et les données BSS, une réinterprétation a parfois été nécessaire de manière à adapter les anciennes données avec les données plus ou moins récentes issues des forages de la BSS. Ce mélange des données a ainsi permis de conserver des particularités observées en 1960 et 1975 car dans ces zones de particularités, soit peu voire pas d'ouvrages BSS existent, soit leur description lithologique est trop imprécise pour être concluante.

Les isobathes du toit de l'Oligocène ont été tracées de sorte que leur cote soit au plus égale à la cote topographique car l'Oligocène peut être à l'affleurement. Ce principe a également été appliqué, à d'autres zones que les horsts délimités, pour ne pas faire affleurer des marnes oligocènes qui n'auraient pas été observées.

Lorsque la cote de l'Oligocène estimée d'après la profondeur des travaux est plus élevée que celle donnée par les isobathes de 1960, ces derniers n'ont pas été discutés. En effet ces données d'archive, essentiellement localisées dans les environs de Haguenau, ont décrit les marnes plus bas que les forages ne les ayant pas atteint ; dans ces cas-là, il a été estimé que les forages actuels n'apportent pas d'informations.

Les remarques éventuelles sur des points semblant incohérents par rapport aux données d'archives ont été consignées dans une table Mapinfo et figurent ainsi sur la carte de synthèse des remarques de cette présente annexe.

Carte interprétée du toit des marnes oligocènes

Dans la partie Nord-Ouest du secteur concernée par l'étude sur la forêt de Bienwald (BROST E. et al., 2001), on retrouve une structure en marches d'escaliers dans le fossé de bordure où, les marnes vont de 70 m NGF à l'Ouest jusqu'à 30 m NGF à l'Est dans un premier bloc tectonique, et de 90 m NGF à l'Ouest jusqu'à 60 m NGF à l'Est dans le bloc au Sud du précédent et s'étendant jusqu'à la faille de Pechelbronn.

Les points de données alignés au Sud de Salmbach sont issus de l'interprétation d'un sondage électrique réalisé dans le cadre de l'étude sur la forêt de Bienwald (BROST E. et al., 2001).

A l'Est de la zone d'emprise de l'étude Bienwald, le mur Oligocène remonte pour atteindre une cote de 170 m NGF dans le horst pour ensuite plonger progressivement vers l'Est et passer d'une cote de 130 m NGF à la limite Est du horst jusqu'à 50 m NGF entre Seltz et Lauterbourg. Au NE de ce horst, le toit des marnes a été interprété sous la forme d'un plateau de cote maximale 120 m NGF. A l'Ouest de Kesseldorf, le mur Oligocène se situe à 100 m NGF et plonge rapidement vers l'Est pour atteindre 40 m NGF à la limite de la nappe Plio-Quaternaire, ce qui est en accord avec les données d'archives (ROSE.P., 1992).

Entre le Nord immédiat de Betschdorf et le bois de l'hôpital (à l'Ouest de Kesseldorf), le mur de l'aquifère forme une immense cuvette qui atteint au plus profond une cote de 40 m NGF. Cette cuvette est le résultat d'une interprétation de données géophysiques et n'a pu être confirmée par des ouvrages de la BSS. A l'Est immédiat de Betschdorf, les marnes forment deux dépressions qui avaient été remarquées dans les archives mais dont une seule avait été tracée (SIMLER L., 1975).

Au centre du secteur entre la Sauer et la Zorn, le toit des marnes plonge globalement vers l'Est et passe d'une cote de 160 m NGF à l'Ouest de la forêt de Haguenau jusqu'à 70 m NGF à Bischwiller. Il descend brutalement à proximité de la limite de la nappe Plio-Quaternaire entre Schirrhein et Schirrhoffen en formant une sorte de fosse.

On dénombre 6 surcreusements majeurs, bien marqués dans la partie Ouest du secteur. Le mur de l'aquifère forme trois vallées fossiles assez étroites selon une direction SE centrées sur les cours d'eau actuels de la Sauer, de l'Halbmuehlbach et de l'Eberbach, et une vallée fossile plus large, toujours orientée SE entre Mommenheim et Weitbruch. Deux autres dépressions existent également, selon une direction SSE au niveau de Schweighouse-sur-Moder : une se situe dans le prolongement actuel de la Zinsel du Nord, un des confluent de la Moder, tandis que l'autre semble reliée au cours d'eau actuel du Brumbach qui passe au Nord de Haguenau. Une autre vallée fossile moins marquée semble exister au niveau des cours d'eau du Rothbaechel et de l'Eschbach. L'extension vers l'Ouest de ces vallées fossiles a pu être mise en évidence par l'interprétation.

On constate, à l'inverse, un plateau formé par le toit des marnes au SE de Haguenau et semblant suivre la direction du cours d'eau actuel de la Moder. La présence de ce plateau sur lequel la Moder actuelle s'écoule atteste que le cours de la Moder a changé contrairement aux autres cours d'eau actuels qui s'écoulent à l'aplomb de vallées fossiles (H. DE BAULNY, 1966).

Le toit des marnes est sub-affleurant et atteint une cote maximale de 210 m NGF entre Schweighouse-sur-Moder et Mommenheim.

Discussions sur les tracés

L'ensemble des remarques sur l'interprétation ainsi que les informations complémentaires tirées des archives sur certaines zones sont représentées sur la carte de synthèse des remarques du toit des marnes de l'Oligocène.

Les isobathes issues de l'étude sur la forêt de Bienwald (BROST E. et al., 2001) ont été conservées dans le fossé de bordure car elles tiennent compte des failles contrairement à l'étude de SIMLER L. du 17 janvier 1975. En revanche, à l'Est et au Sud de ce fossé de bordure, les isobathes n'ont pas été simulées dans l'étude de 2001 revue en 2011, les données de 1975 ont donc été privilégiées et adaptées en fonction des données BSS présentes. Les données de 1960 n'avaient pas toujours bien tracé ces lignes, car certaines isobathes sont 5 m au-dessus de la topographie.

A l'Est de la forêt de Haguenau, où moins d'une dizaine de forages ont atteint les marnes de l'Oligocène, il est possible de diminuer la cote indiquée par les points entraînant un décalage des isobathes tracées.

Le tracé au niveau de la terrasse de Mothern est très incertain car peu de données BSS sont présentes dans ce secteur. Une étude récente datant de 2006 (BIRTLER C., ELSASS P.) montre un abaissement brutal, sur une centaine de mètres de hauteur, du toit des marnes de l'Oligocène par le jeu d'une faille normale orientée NS. La table Mapinfo des failles du Nord du secteur issue de l'étude de 2001 (BROST E.) montre que cette faille s'arrête à la limite Nord de la nappe du Plio-Quaternaire. L'évolution du mur de l'aquifère sous cette terrasse ne suit donc pas nécessairement la structure observée plus au Nord, l'interprétation de SIMLER L. du 17 janvier 1975 a donc été conservée faute de données complémentaires.

Au Nord-Est de Betschdorf, une différence de 40 m de la cote du mur est observée alors que les ouvrages sont séparés de 2 km. Etant donné une zone faillée marquée dans tout le secteur Nord, cette brusque variation aurait pu être interprétée comme le signe de la présence d'une faille. Cependant le peu d'ouvrages présents dans ce secteur ainsi que l'absence d'observations de terrain n'a pas permis cette confirmation. Aucune faille n'a donc été prise en compte dans cette zone.

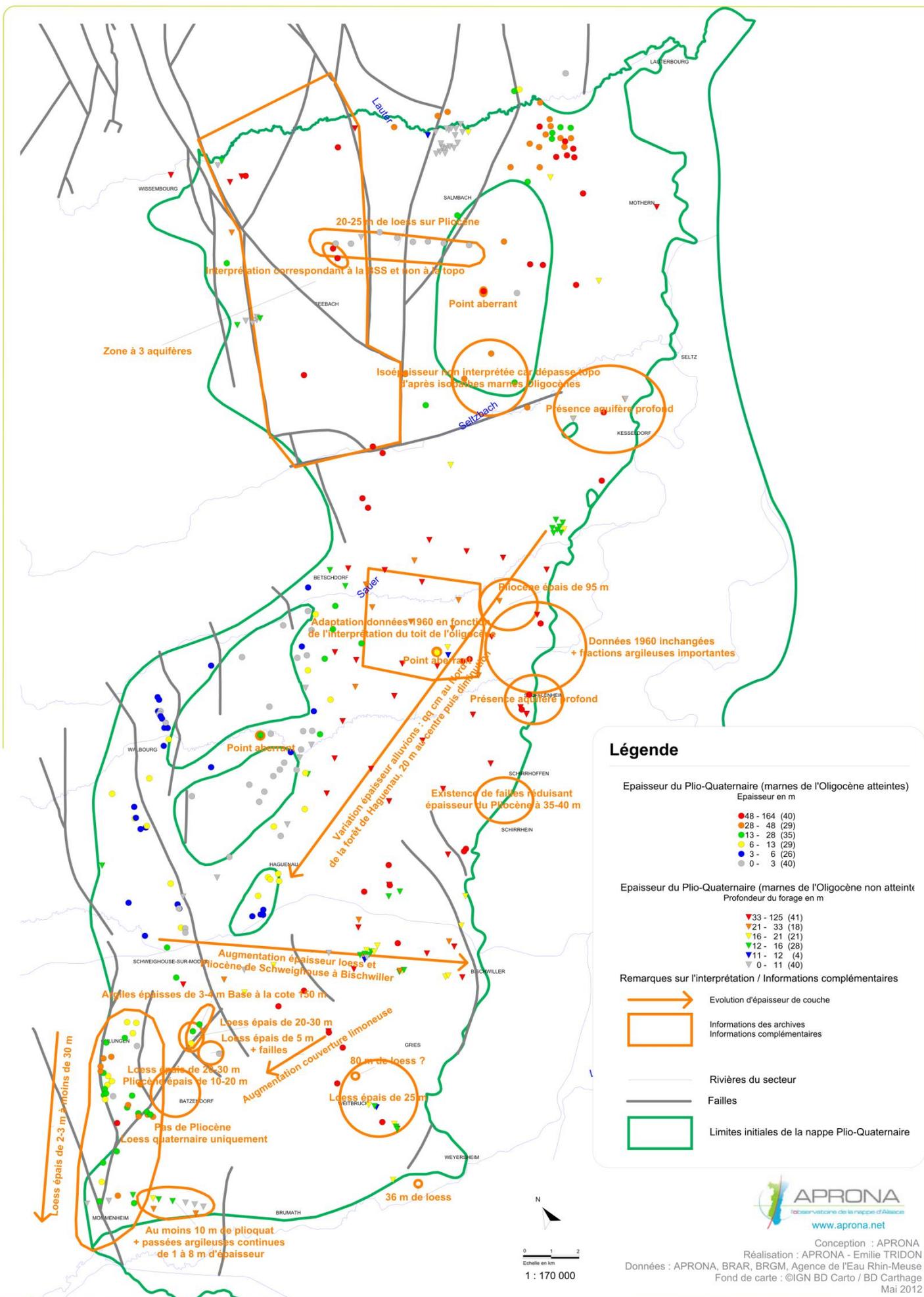
Le rejet de la faille normale de Pechelbronn qui se situe au Sud immédiat de l'étude Bienwald est incertain et a été interprété uniquement à partir des données de la BSS. Dans le Sud du secteur, au Nord de Mommenheim, des données d'archives figurent des failles dérivant de la faille rhénane majeure. Il a été supposé que ces failles, observées aux environs de Mommenheim, affectaient les marnes oligocènes (Notice de la carte géologique de Brumath, 1970). L'interprétation réalisée peut donc être remise en question s'il s'avère que ces failles n'affectent pas les marnes de l'Oligocène.

Entre Soufflenheim et Schirrhoffen, le pic formé par le mur de l'aquifère, tracé dans l'étude de SIMLER L. du 17 janvier 1975 à partir de mesures géophysiques, a été privilégié par rapport aux conclusions de l'étude de FRAUEL J.P. de 1960. Les sondages géophysiques de 1960 montraient le début d'une dépression des marnes atteignant une cote minimale de 60 m NGF. Mais peu de forages sont présents dans cette zone pour confirmer ou non cette structure géologique, le choix s'est donc fait sur l'étude la plus récente des deux.

Certains forages ont été évités lors de l'interprétation soit pour l'aberration obtenue de l'information par rapport aux forages voisins, soit pour la non-concordance avec des résultats de données plus récentes sur la même zone. Par exemple, un ouvrage de la BSS présente une remontée du toit des marnes à l'Ouest de la forêt de Haguenau (cote 129,5). Ceci ne semble pas cohérent avec les données d'archives qui indiquent la présence d'une cuvette où le toit des marnes s'enfonce progressivement de Betschdorf à Soufflenheim, il n'a donc pas été considéré dans l'interprétation.

Les cotes des isobathes aux limites Sud et Est de la nappe sont cohérentes avec le projet MONIT au cours duquel les isobathes du mur de l'aquifère rhénan du quaternaire avaient été tracées (LUBW, 2006).

Synthèse des remarques sur les iso-épaisseurs du Plio-Quaternaire



Notice explicative de la carte des iso-épaisseurs du Plio-Quaternaire

Méthode générale du tracé des iso-épaisseur

Les courbes d'iso-épaisseurs, symbolisant l'épaisseur cumulée des formations du Pliocène et du Quaternaire, ont été tracées sur le même principe que pour les isobathes du toit des marnes de l'Oligocène à partir d'une carte d'analyse thématique rassemblant l'ensemble des informations sur le recouvrement des marnes de l'Oligocène. Cette carte indique l'épaisseur réelle du Plio-Quaternaire lorsque les ouvrages de la BSS ont atteint le toit des marnes. Dans le cas contraire, seule l'épaisseur minimale de l'aquifère est indiquée. L'épaisseur du Plio-Quaternaire additionnée à la cote interprétée du toit des marnes oligocènes ne doit pas dépasser la cote topographique. C'est pourquoi l'interprétation a été réalisée en superposant la carte du toit des marnes précédemment réalisée.

Dans les zones où seules des données d'ouvrages BSS sont présentes, les iso-épaisseurs ont été tracées par interpolation linéaire entre les points de données proches. Au centre du secteur, où des données BSS et une carte des iso-épaisseurs datant de 1960 (FRAUEL J.P.) coexistent, les informations anciennes ont été réinterprétées lorsque les données BSS présentes apportaient des renseignements supplémentaires ou plus récents. La cohérence de l'interprétation a été jugée au fur-et-à-mesure en tenant compte des informations générales, issues des archives, sur les variations d'épaisseur du Plio-Quaternaire. Lorsque le lien entre deux iso-épaisseurs de même valeur est incertain ou dans les zones où l'Oligocène n'a pas été atteint, les lignes ont été figurées en pointillés.

Dans le cas où seul le tracé interprété des isobathes du toit des marnes est présent, l'épaisseur du Plio-Quaternaire a été déduite de l'intersection entre les isobathes du toit de l'Oligocène et les courbes de niveau en effectuant la différence entre les deux cotes aux points d'intersection comme l'explique la figure suivante.

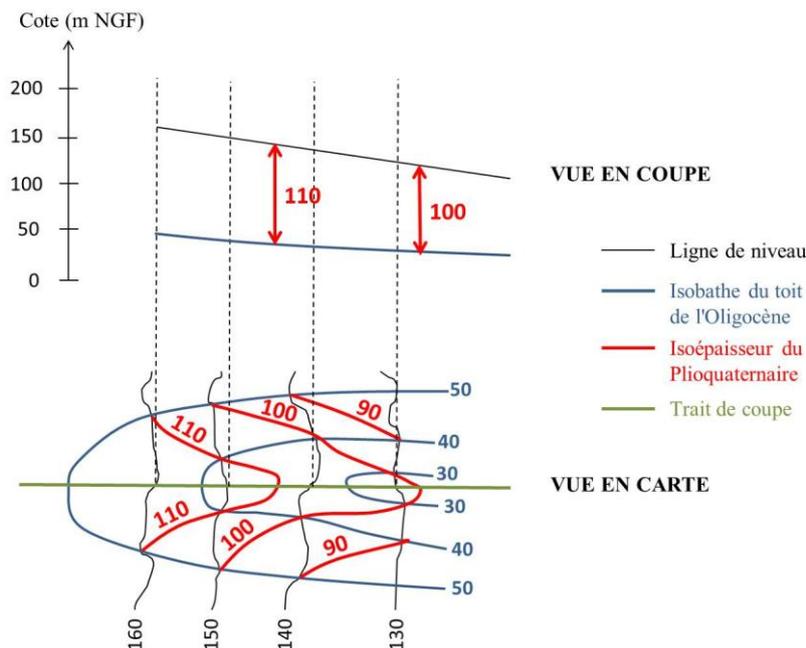


Schéma explicatif du tracé des isoépaisseurs du Plioquaternaire. Le tracé se base sur les isobathes du toit des marnes de l'Oligocène et les lignes de niveau topographiques. En effectuant la différence entre la cote topographique et la cote des marnes à chacune des intersections entre ces deux types de ligne, il est possible d'en déduire l'épaisseur du Plioquaternaire.

Carte interprétée de l'épaisseur du plio-quaternaire

La variation d'épaisseur de l'aquifère Plio-Quaternaire est essentiellement due à la variation du mur formé par les marnes de l'Oligocène, mais elle peut également résulter de mouvements tectoniques ayant fait rejouer des failles dans les formations du Pliocène (MILLOT G., 1960).

Au Sud du cours d'eau de l'Eberbach, on retrouve l'augmentation globale d'épaisseur de l'Ouest vers l'Est passant de 5 m à l'Ouest de la forêt de Haguenau jusqu'à 130 m d'épaisseur près de Schirrhein. Comparée aux isobathes de FRAUEL J.P. de 1960, l'augmentation d'épaisseur est moins linéaire et s'effectue plus rapidement directement à l'Est des deux zones d'absence de nappe dans la forêt de Haguenau, elle passe alors de 2 à 10 m en moins d'un kilomètre. Les formations du Plio-Quaternaire augmentent également en épaisseur selon une direction SSE entre Schweighouse-sur-Moder et Weitbruch-Bischwiller, où les sables passent d'une épaisseur de 10 m à 120 m au Nord de Weitbruch. Au SE de Haguenau suivant la Moder, le gradient d'épaisseur est plus fort dans l'axe de cette rivière ce qui est directement relié au plateau formé par le toit des marnes.

Dans la forêt de Haguenau, les formations du Plio-Quaternaire sont peu épaisses à l'Ouest, où elles atteignent 5 m d'épaisseur au maximum, et leur épaisseur augmente progressivement vers l'Est pour atteindre une profondeur d'une centaine de mètres dans la dépression formée par les marnes de l'Oligocène au-dessus de la Sauer. L'épaisseur des sables diminue ensuite vers Soufflenheim (45 m) et en direction de Kesseldorf (moins de 10 m) et augmente de nouveau après Kesseldorf (une fois la remontée des marnes dépassée) pour atteindre 80 m à la limite Est de la nappe du Plio-Quaternaire.

Dans la zone d'emprise de l'étude sur la forêt de Bienwald (BROST E. et al., 2001), les sables du Plio-Quaternaire atteignent au maximum 110 m d'épaisseur dans le fossé de bordure, leur épaisseur diminuant progressivement vers le Nord en marches d'escaliers en suivant l'évolution du toit des marnes de l'Oligocène. A l'Est de cette étude, les formations du Plio-Quaternaire deviennent peu épaisses, 10 à 30 m d'épaisseur, du fait du horst de Niederlauterbach formé par les marnes. Entre ce horst et la terrasse de Mothern, l'épaisseur augmente de nouveau et passe de 30 à 80 m à la limite entre la terrasse Pliocène et de Mothern. Entre ce horst et celui situé au NE de celui-ci à la frontière allemande, les sables du Plio-Quaternaire augmentent d'épaisseur de part et d'autre d'un plateau formé par les marnes de l'Oligocène.

Couverture lœssique et caractéristiques particulières

Bien que les formations du Quaternaire et du Pliocène soient indifférenciées sur la carte, des indications sur l'épaisseur des formations du Quaternaire, lœssiques essentiellement, ont été apportées sous la forme d'une table Mapinfo, où figure également les points aberrants non pris en compte dans l'interprétation et des zones particulières de l'aquifère. La carte synthétisant ces remarques est donnée dans cette présente annexe. Une carte d'interprétation de la profondeur de la base du Quaternaire et de l'épaisseur des argiles a aussi été réalisée en annexe 5.

L'épaisseur des lœss, souvent indifférenciés des sables silto-argileux du Quaternaire, varie de 2 m d'épaisseur au Sud de la Moder, à moins de 30 m à la limite sud de la nappe. L'épaisseur des sables augmente également de Ohlungen à Bischwiller où elle passe de 10 m à près de 80 m d'épaisseur (Notice de la carte géologique de Brumath, 1970). Entre la Sauer et la Moder, les sables du Pliocène sont affleurant à sub-affleurant sous une couverture alluvionnaire vosgienne peu épaisse, les deux cours d'eau ayant déblayés les dépôts lœssiques (BIRTLER C., ELSASS P., 2006), sauf au centre de la forêt de Haguenau. Les alluvions récentes atteignent donc une épaisseur de quelques centimètres au Nord de la forêt de Haguenau jusqu'à quelques dizaines de mètres au centre pour diminuer ensuite vers Haguenau. L'épaisseur des sables du Pliocène augmente, elle, progressivement vers le Sud-Ouest de Haguenau où ils s'enfoncent sous les lœss.

Les formations lœssiques peuvent se retrouver directement en discordance avec les marnes de l'Oligocène. C'est le cas de Ohlungen à Mommenheim, ou encore entre le fossé de bordure et la terrasse de Mothern au Nord du secteur, où aucune lithologie Pliocène n'a été mise en évidence. La

présence ou l'absence de nappe dans les zones délimitées sur le secteur par Monsieur Philippe ELSASS, hydrogéologue, a été prise en compte à l'aide des ouvrages de la BSS dans ces zones et aux environs immédiats ainsi que sur la limite Ouest de la nappe. Dans le horst de Niederlauterbach, l'épaisseur de Plio-Quaternaire peut atteindre une trentaine de mètres en moyenne. L'absence de nappe du Plio-Quaternaire peut être expliquée par la lithologie des fines rencontrées, formées notamment de lœss et d'argiles. Les deux autres zones d'absence de nappe dans la forêt de Haguenau sont liées à une remontée des marnes qui diminue l'épaisseur du recouvrement Plio-Quaternaire à moins de 5 m. Les formations rencontrées dans ces zones sont souvent des limons très argileux avec une épaisseur de terre végétale de l'ordre du mètre. Ces zones n'ont pas été discutées car une vérification sur le terrain de la présence d'eau éventuelle dans ces ouvrages n'est pas possible, la plupart étant indiqués comme rebouchés dans la base de données Infoterre. Il n'est donc pas possible d'établir la continuité de la nappe.

En revanche la zone située sur la ville de Haguenau est discutable. En effet, tous les ouvrages y présentent un niveau d'eau dans des formations sableuses et graveleuses gris-brunes de 5 m d'épaisseur en moyenne. La nappe s'écoulerait bien dans cette zone. Après discussion avec Monsieur ELSASS, les analyses m'ont amenée à rediscuter les limites qu'il avait proposées, c'est pourquoi cette zone a été supprimée des cartes interprétées.

Quant à la limite Ouest de la nappe, il est difficile de la discuter car peu de points sont présents à l'Ouest de cette limite. D'autre part, soit les sondages sont peu profonds et n'apportent pas d'information, soit il s'agit de forages pétroliers imprécis qui ne donnent aucune indication sur le niveau d'eau. Seule la limite de la nappe au niveau de Mommenheim pourrait être adaptée et étendue plus à l'Ouest et ne pas forcément suivre la délimitation des failles Rhénane et de Mommenheim-Hochstett. En effet, des lœss ont été interprétés sur les ouvrages plus à l'Ouest de ces failles. Cette modification de la limite n'a pas été prise en compte dans le cadre de cette étude car elle possède un degré d'incertitude important.

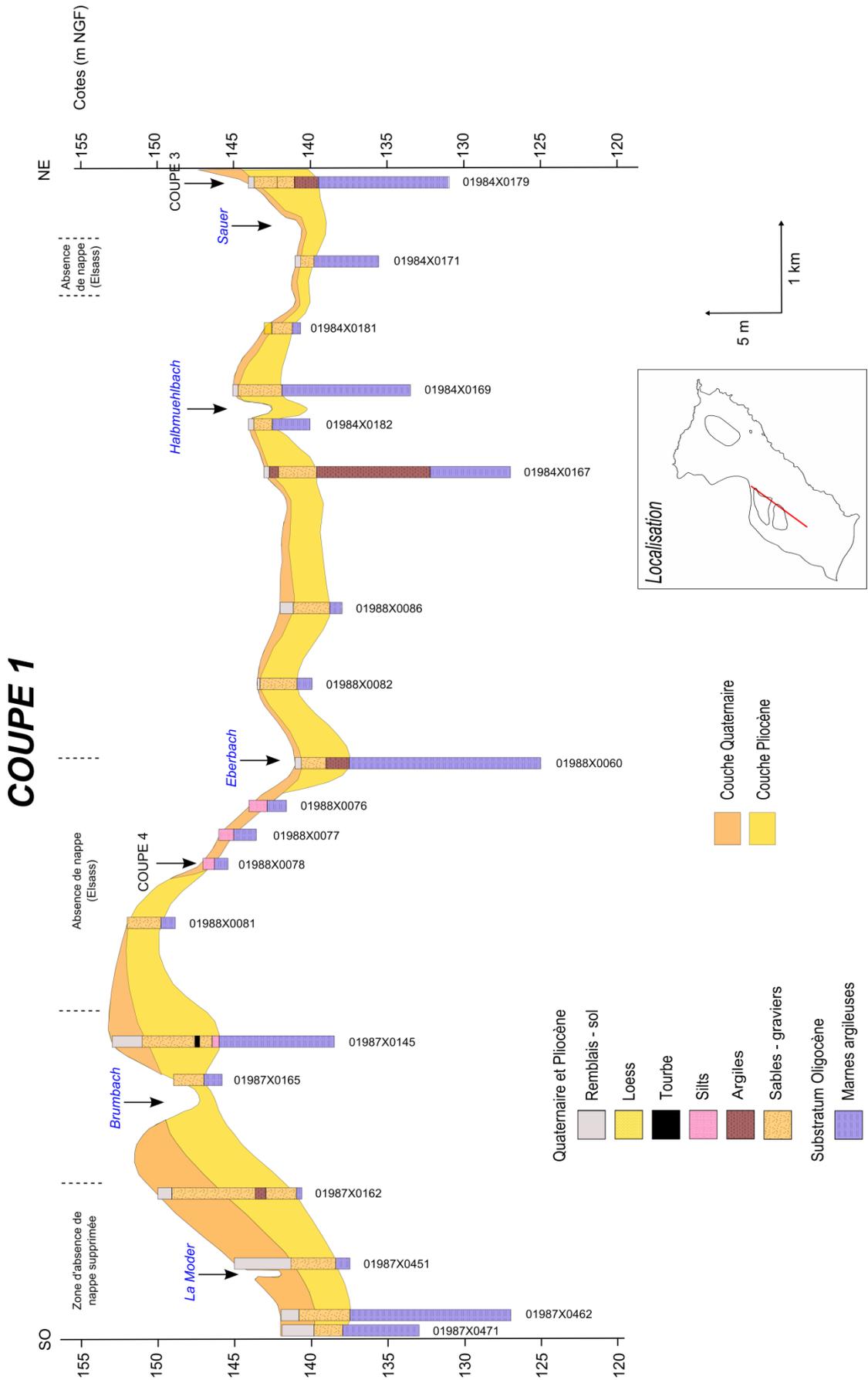
L'aquifère du Plio-Quaternaire ne forme pas un ensemble homogène dû aux nombreuses lentilles voire passées argileuses de quelques mètres d'épaisseur qui y sont présentes. Ces fractions argileuses sont plus importantes à l'Est et au Nord du secteur. Autour de Soufflenheim et de Kesseldorf, l'aquifère du Plio-Quaternaire se subdivise ainsi en deux grâce à une passée argileuse de quelques mètres d'épaisseur. Entre le horst de Niederlauterbach et la ville de Mothern, une nappe perchée a été mise en évidence, signe d'une couche imperméable au sein des sables du Plio-Quaternaire. Toutefois la continuité de ce double aquifère n'a pu être prouvée entre ces 3 zones. D'autres passées argileuses épaisses de 5 m en moyenne ont également été mise en évidence au Sud-Ouest de Haguenau à Harthouse ainsi qu'à l'Est de Mommenheim.

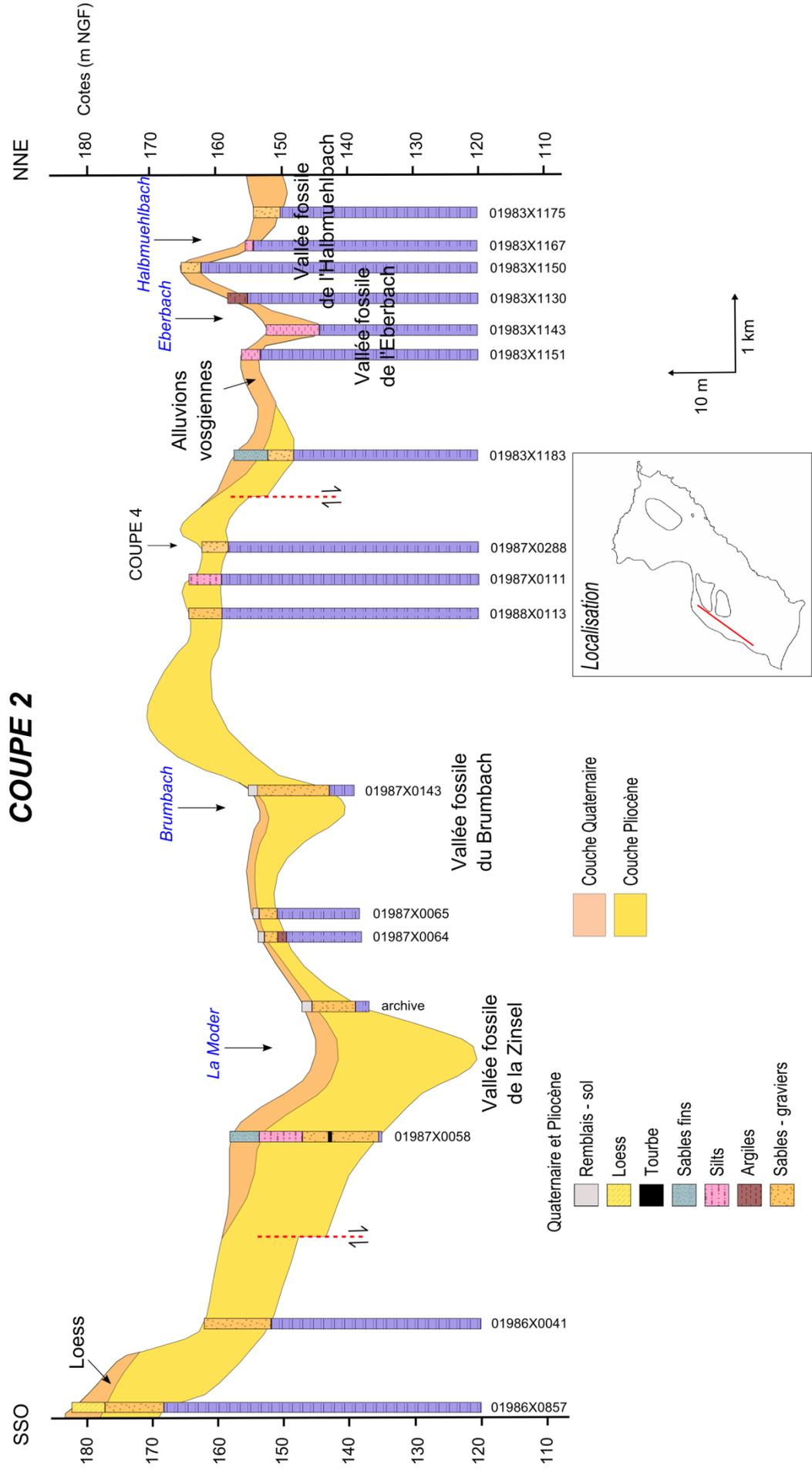
Carte piézométrique de synthèse des données d'archives

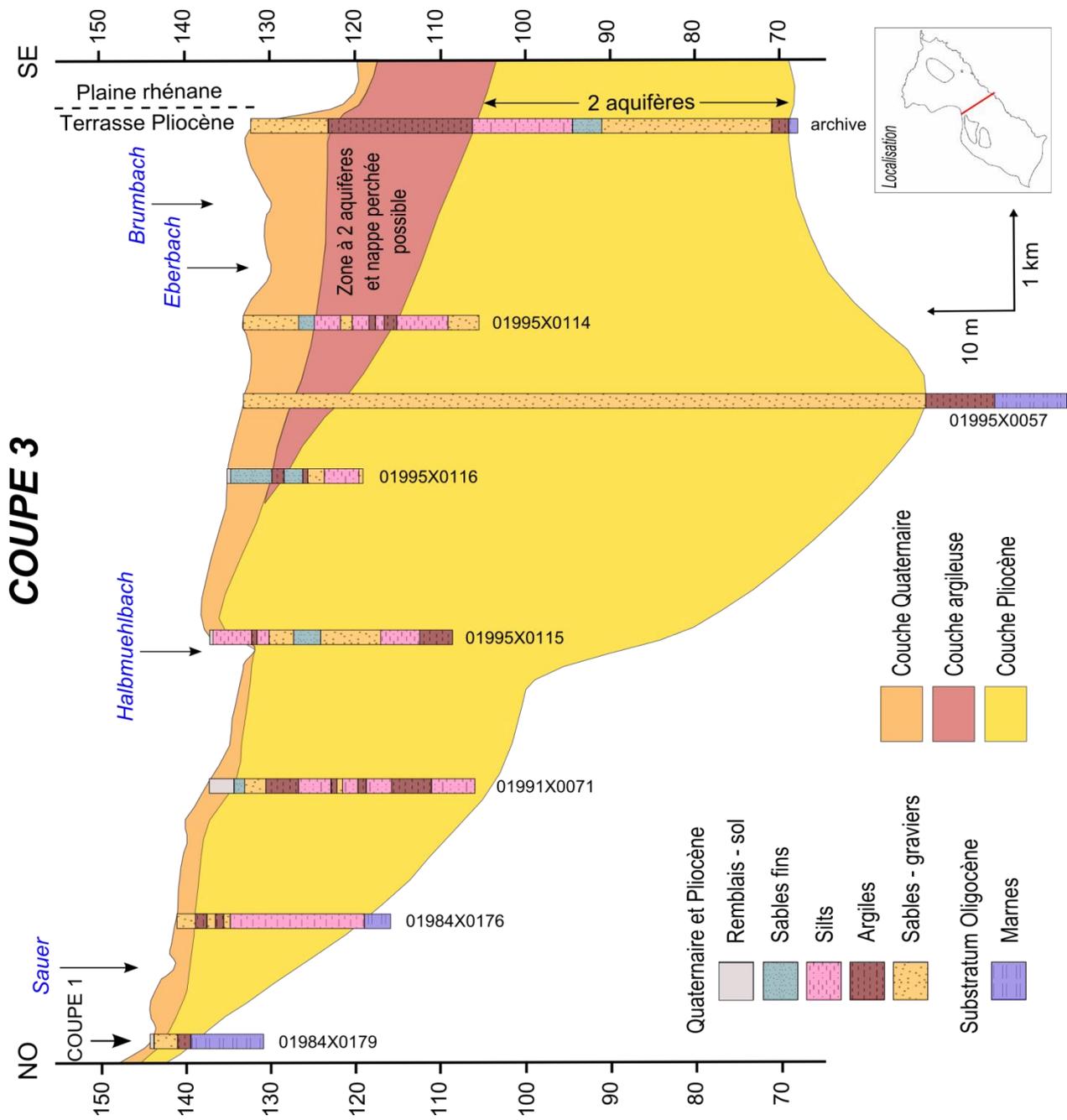
Sur cette carte figurent les informations de diverses cartes piézométriques et informations hydrologiques tirées des archives telles que le sens d'écoulement, les caractéristiques de la nappe (transmissivité, coefficient d'emmagasinement, conductivité hydraulique), les relations nappe-rivière dont les cours d'eau drainant la nappe. Elle a été établie à titre indicatif car les cartes piézométriques ayant servi à son élaboration sont issues de périodes différentes. Cette carte permet également de localiser les informations sur les paramètres hydrodynamiques de la nappe.

Les principaux cours d'eau drainant la nappe sont du Nord au Sud, la Sauer, l'Halbmuelbach, l'Eberbach, le Brumbach, le Rothbaechel et l'Eschbach ce quelle que soit la période observée.

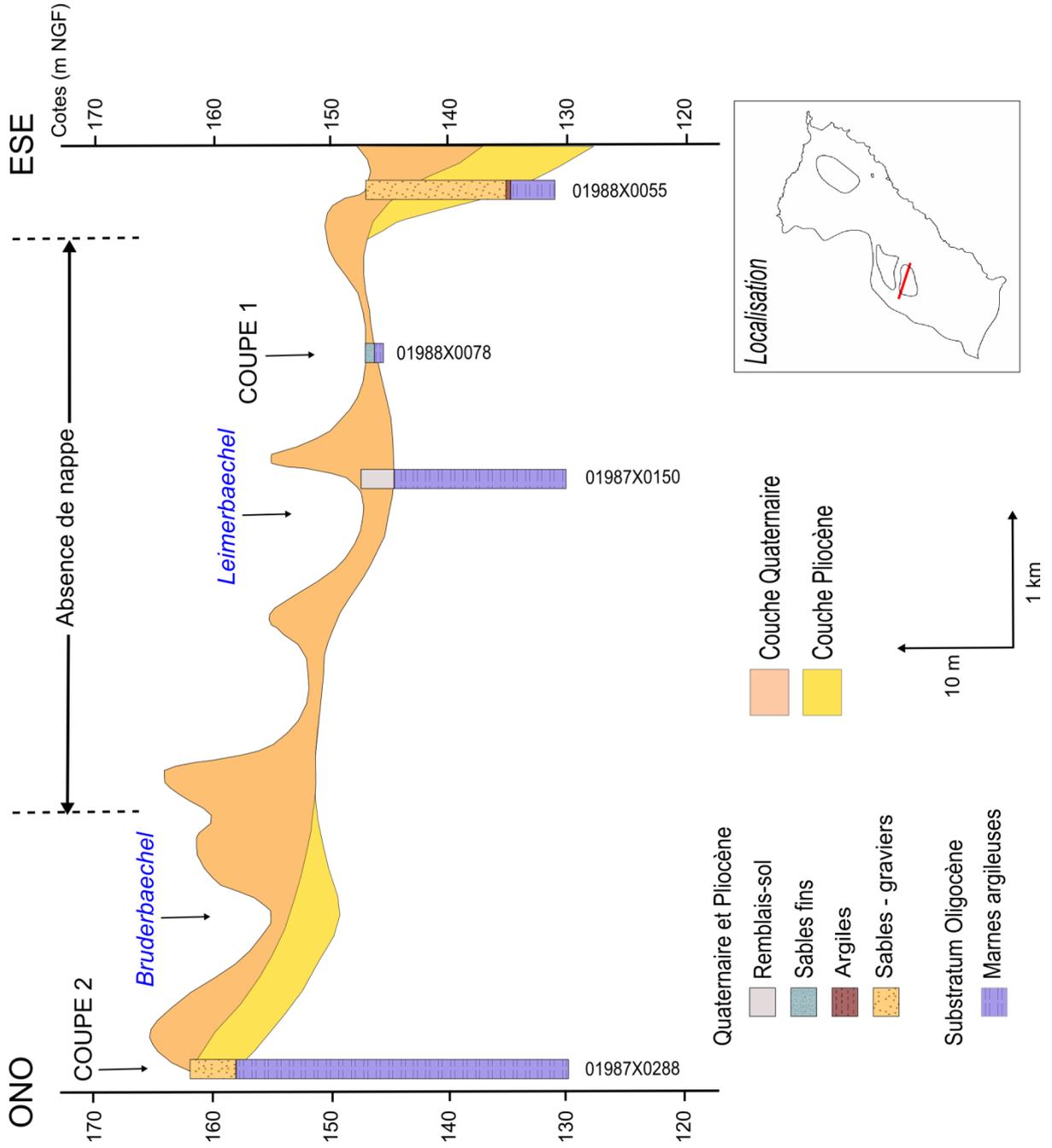
ANNEXE 7 :
Coupes géologiques et notices détaillées

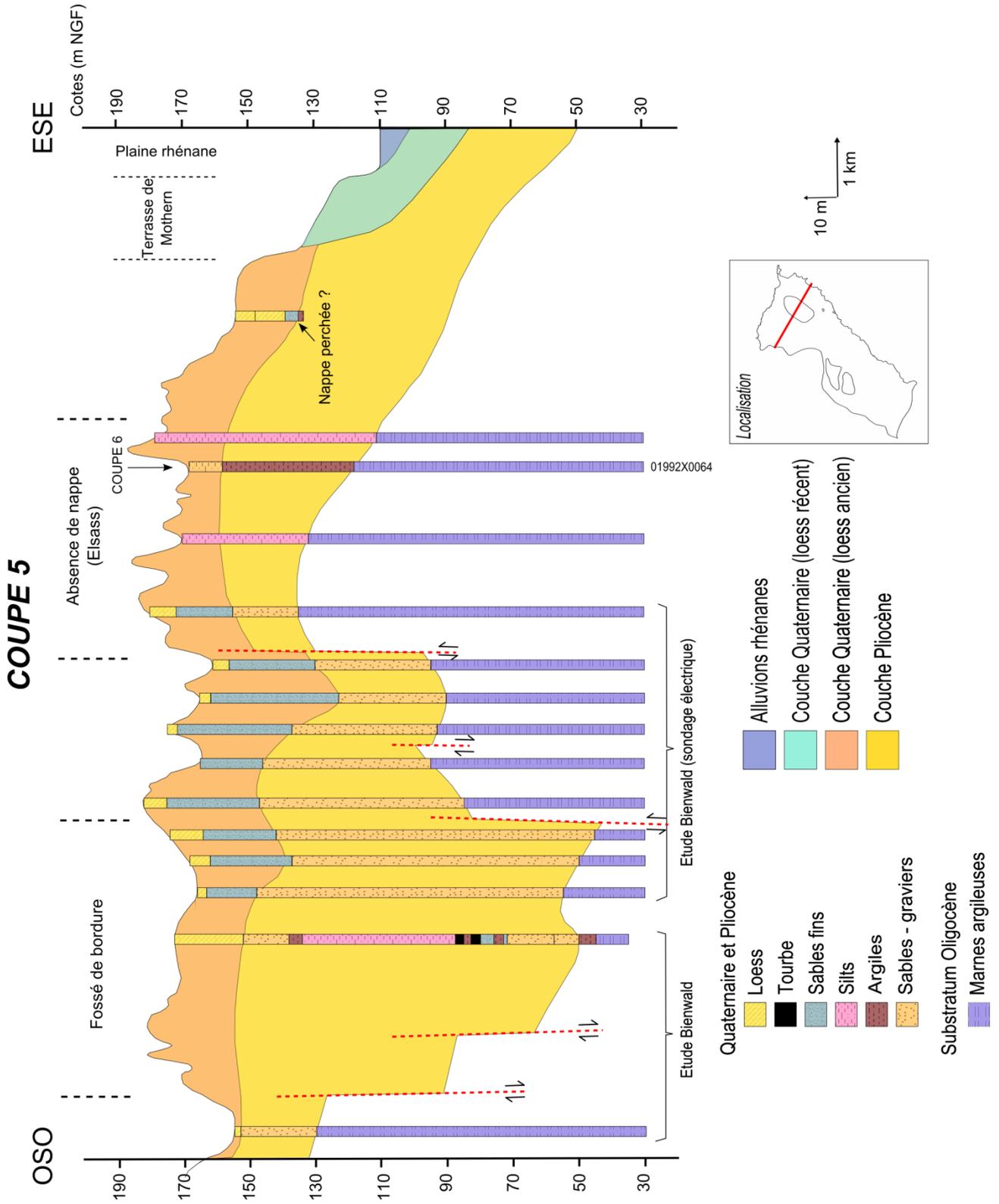


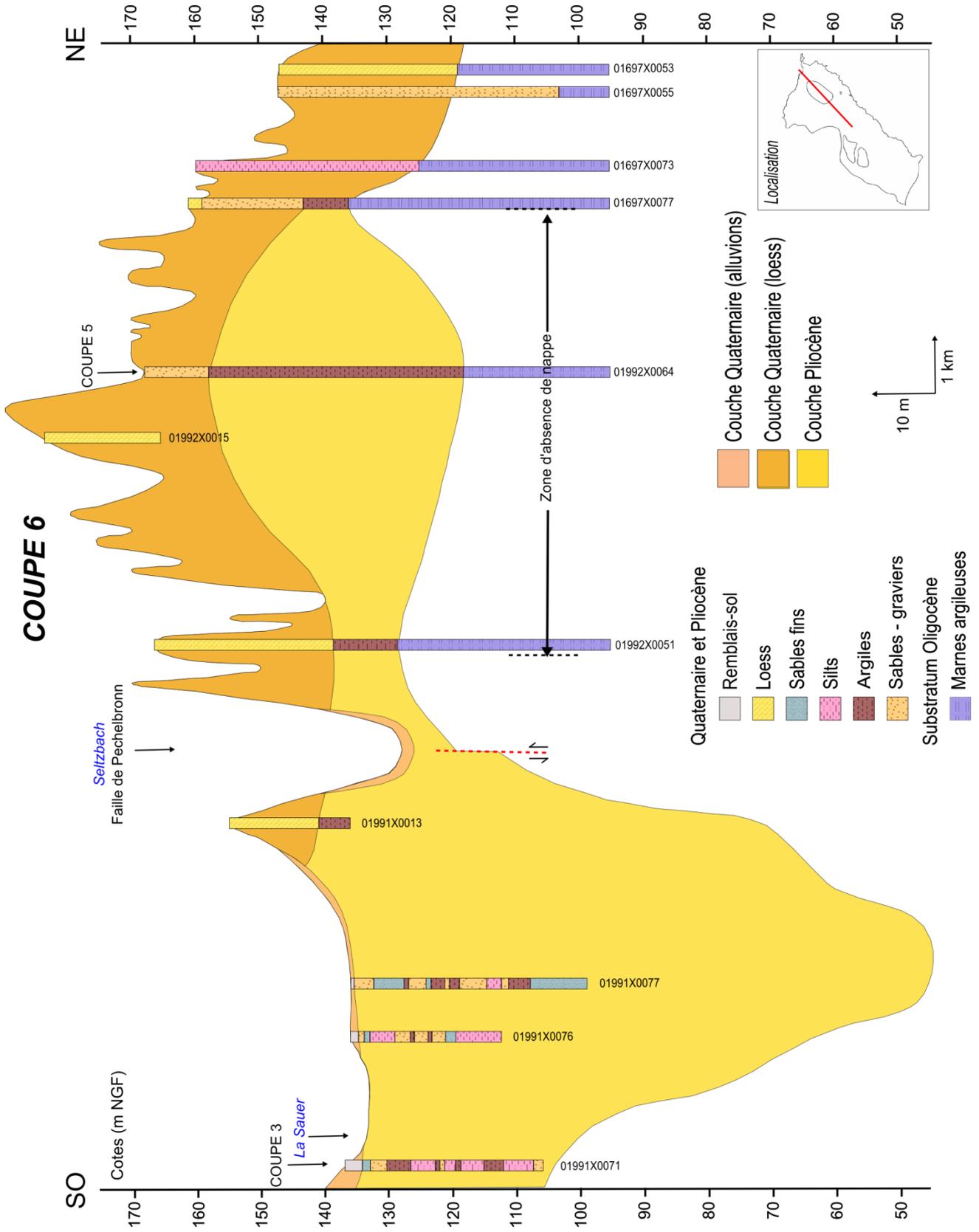




COUPE 4







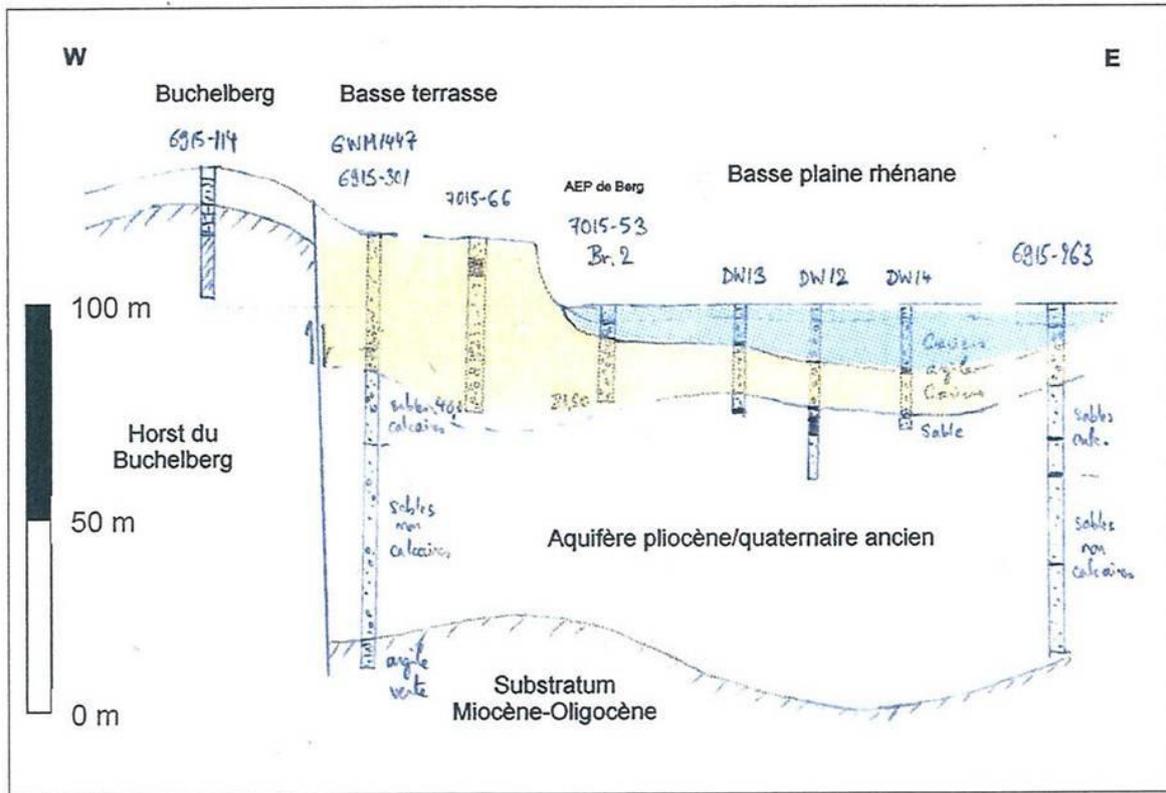
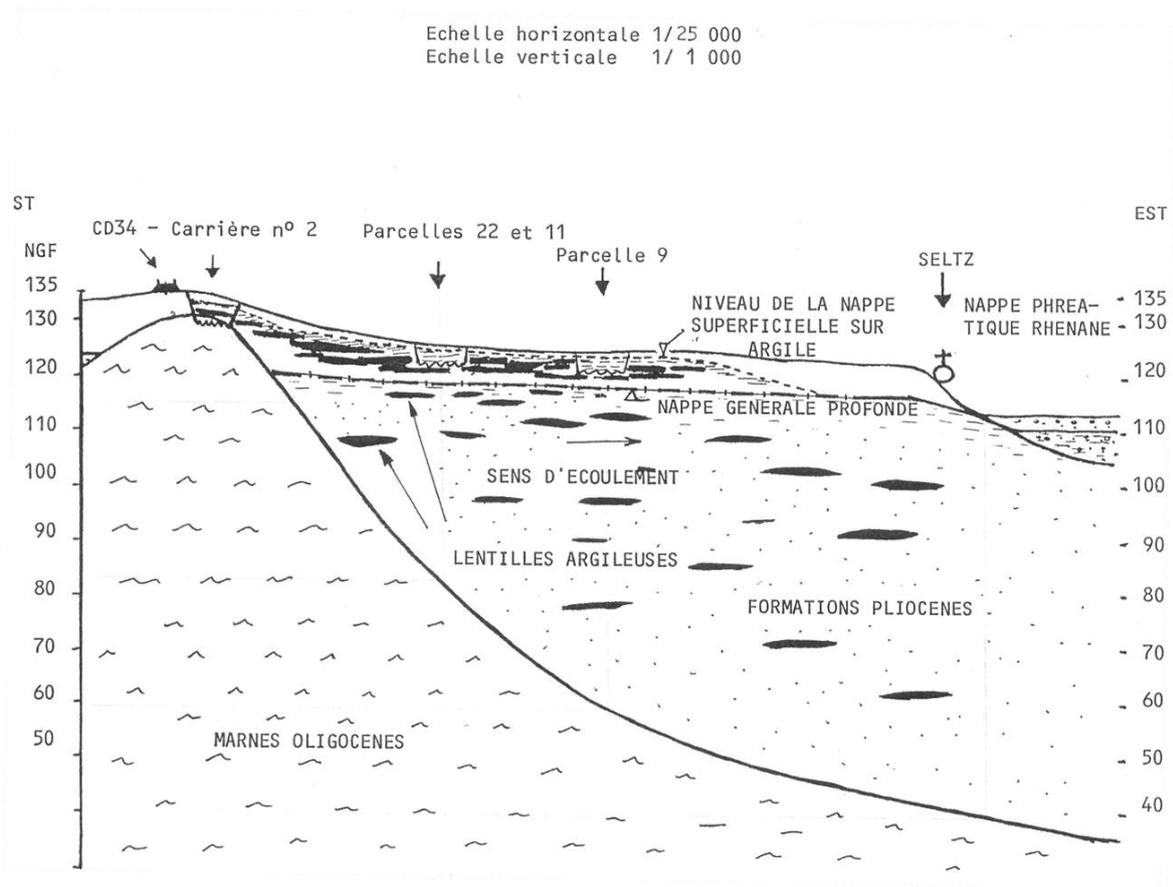
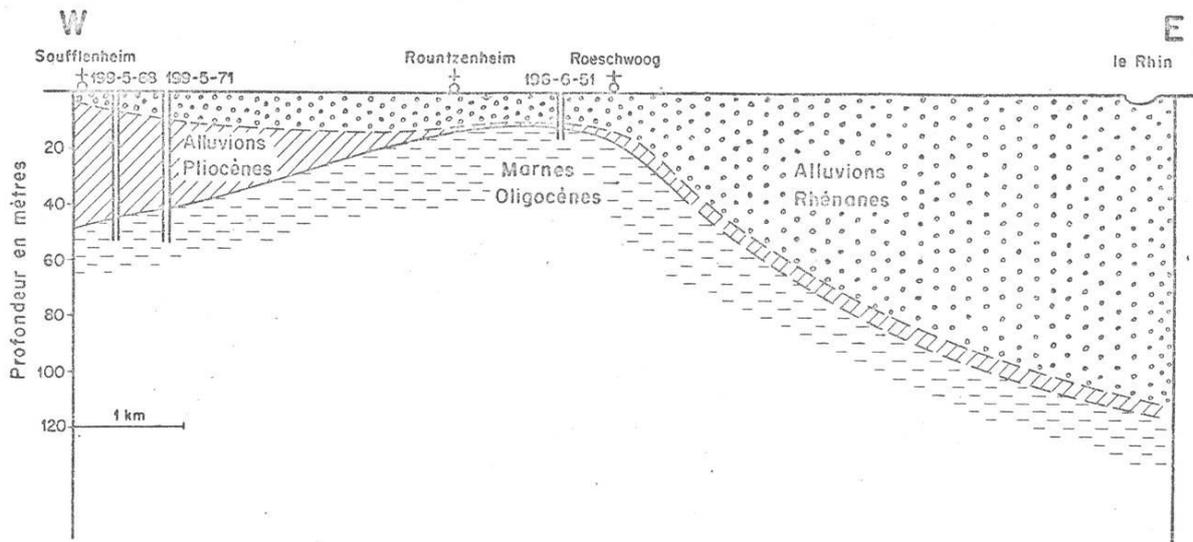


Illustration 21 : Coupe schématique W-E des terrasses au niveau de Berg (Palatinat).
 Jaune : sables et graviers rhénans de la basse terrasse ; bleu : sables et graviers limoneux
 holocènes (d'après Fomsgaard et Elsass, 2004)

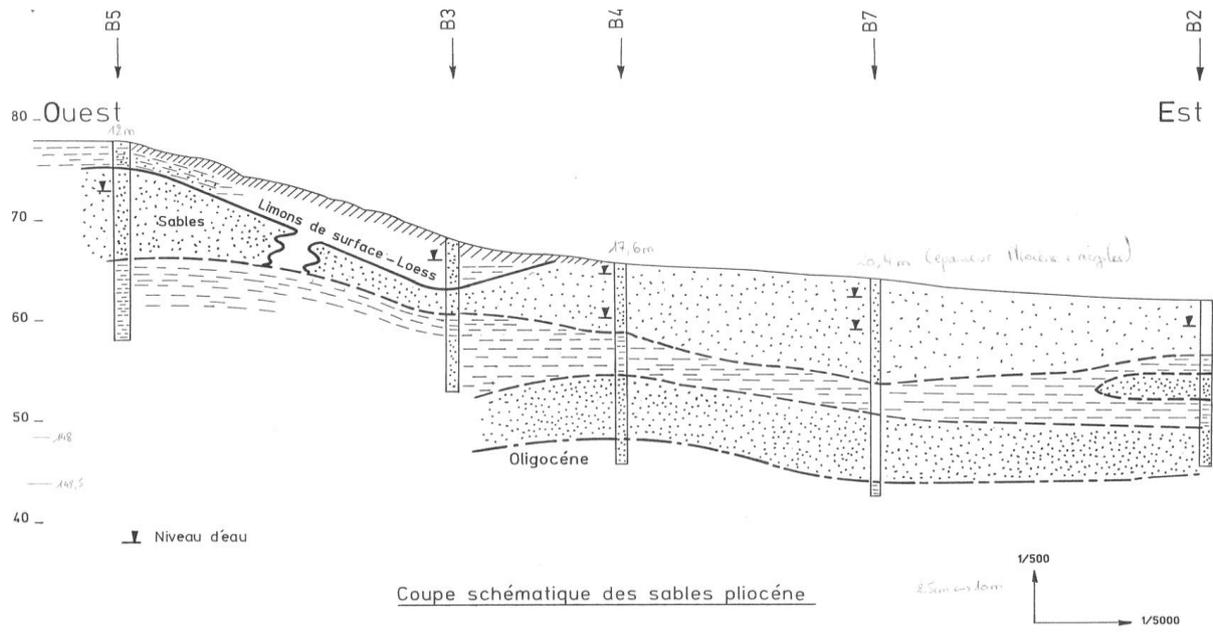
Coupe Ouest-Est de la terrasse de Mothern au-dessus de la limite Nord de la nappe (BIRTLE C., ELSASS P., 2006).
 Le tracé du trait de coupe correspond au trait A.



Coupe Ouest-Est passant à dans le bois de l'Hôpital et à Kesseldorf (ROSE P., 1992). Le tracé du trait de coupe correspond au trait D.

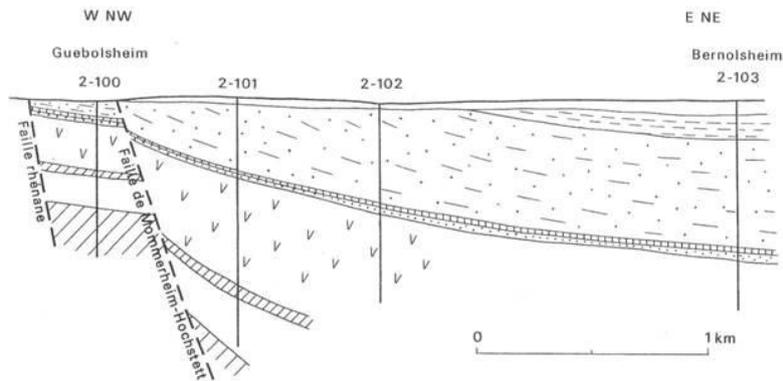


Coupe Ouest-Est passant à Soufflenheim (SIMLER L., GENDRIN P., 1974). Le tracé du trait de coupe correspond au trait E.



Coupe Ouest-Est passant au SO de Haguenau (KREBS G., 1990). Le tracé du trait de coupe correspond au trait F.

(D'après HAAS et HOFFMANN, in Schnaebelé (1948))



Coupe ONO-ENE passant au Nord de Mommenheim (Notice de la carte géologique de Brumath, 1970). Le tracé du trait de coupe correspond au trait G.

Notice explicative des coupes géologiques et hydrogéologiques

Les directions des coupes ont été choisies de manière à comprendre et mieux visualiser les vallées fossiles creusant les marnes de l'Oligocène, les zones d'absence de nappe, les caractéristiques des failles et la structure à l'interface entre l'aquifère Plio-Quaternaire et rhénan.

La topographie des coupes a été tracée à partir des lignes de niveau figurant sur la carte IGN BD Carto de la base de données de l'APRONA. L'interprétation des différentes coupes tient compte des ouvrages de la BSS et des archives ainsi que l'interprétation faite du toit des marnes de l'Oligocène et des iso-épaisseurs du Plio-Quaternaire. L'intégration de cette interprétation permet notamment de vérifier la cohérence avec les données de la BSS. Les limites de formations alluvionnaires superficielles ont été tracées à partir de la carte géologique issue du site Infoterre et des alluvions éditée par le BRGM en 2008.

La carte générale du secteur avec l'ensemble des traits de coupe est donnée au début de cette présente annexe.

Partie Nord du secteur : un fossé de bordure à 3 aquifères

Cette partie concerne toute la zone située au Nord d'une ligne passant par Hoffen et Seltz jusqu'à la frontière allemande.

Dans la partie Nord-Ouest du secteur concernée par l'étude sur la forêt de Bienwald (BROST E. et al., 2001), deux coupes de cette étude apportent des informations sur la partie Nord-Ouest du secteur. La coupe longitudinale C illustre l'abaissement vers le Sud en marches d'escaliers du toit des marnes de l'Oligocène. La coupe transversale B passant par la frontière allemande montre, quant à elle, la structure caractéristique de graben encadré de part et d'autre par des horsts formé par le socle tertiaire. Dans la partie la plus basse du fossé, le toit des marnes s'abaisse progressivement vers l'Est également en marche d'escaliers. Ces coupes donnent donc un bon aperçu du vaste fossé d'effondrement, découpé en marches d'escaliers par des failles transversales orientées SW-NE et qui abaisse progressivement le toit des marnes de l'Oligocène à la fois vers le Sud et vers l'Est.

La coupe transversale n°5 traverse la totalité du Nord du secteur en recoupant la coupe longitudinale C ainsi qu'un sondage électrique réalisés dans le cadre de l'étude sur la forêt de Bienwald (BROST E. et al., 2001). Dans la partie Ouest, on retrouve la structure typique d'un fossé de bordure déjà décrite par une coupe transversale plus au Nord suivant la frontière allemande. Le toit des marnes s'abaisse progressivement vers l'Est suivant un jeu de failles transverses et atteint une cote minimale moyenne de 50 m NGF, les sables du Pliocène pouvant ainsi atteindre plus de 100 m d'épaisseur avec un recouvrement loessique d'une trentaine de mètres d'épaisseur en moyenne. Ce fossé est séparé du horst de Niederlauterbach par deux blocs soulevés qui rehaussent d'une quarantaine de mètres le toit des marnes par rapport au fossé. Dans ce fossé on retrouve les 3 aquifères mis en évidence par l'étude de 2001. Cependant, un seul forage, celui le plus au Sud de la coupe C, permet véritablement de distinguer les aquifères, la continuité des intercalaires argileux ne pouvant être interprétée à partir de l'interprétation du sondage électrique trop imprécise à ce sujet. Contrairement à l'aquifère profond cantonné dans le fossé de bordure, l'aquifère moyen et supérieur se poursuivent sur les blocs soulevés adjacents au fossé de bordure et la distinction entre les deux a été réalisée en considérant la transition entre les silts et les sables détectés par le sondage électrique.

L'extension et le pendage des failles a été repris de la coupe transversale B située plus au Nord en supposant une faible variabilité des caractéristiques des failles.

Le horst de Niederlauterbach est marqué par une remontée du toit des marnes de l'Oligocène et par un recouvrement argilo-sableux jaune-vert d'une quarantaine de mètres d'épaisseur en moyenne décrit dans la lithologie des forages comme appartenant au Pliocène. Ce horst, décrit depuis longtemps,

correspond à une zone d'absence de Pliocène. À l'Est de ce horst, la nappe perchée décrite dans l'étude de 2006 (BIRTLER C., ELSASS P.) a été marquée à partir d'un ouvrage passant dans la zone. En revanche l'extension de l'aquiclude est inconnue. Une structure de terrasses alluviales emboîtées a également été interprétée au niveau de la terrasse de Mothern.

La coupe n°6 orientée SO-NE passe à travers le horst de Niederlauterbach et montre deux structures bien distinctes. Dans la partie Sud de la coupe, on observe la dépression du toit des marnes de l'Oligocène issue des données d'archives de 1975. Cette interprétation ne peut être vérifiée, les forages n'ayant pas atteint les marnes dans cette zone. Les alluvions vosgiennes, d'âge Holocène, reposent sur le Pliocène et recourent les lœss du Pléistocène. Au Nord de la coupe, la faille de Pechelbronn permet la remontée du toit des marnes formant le horst de Niederlauterbach. Ces marnes sont recouvertes d'une épaisseur importante de lœss (30 m d'épaisseur environ) assez souvent mélangés à des sables très argileux ce qui explique l'absence de nappe du Plio-Quaternaire. Dans cette partie Nord de la coupe, les points de données BSS ayant servis à l'interprétation sont issus de forages pétroliers, la distinction entre les formations lœssiques du Quaternaire et le Pliocène n'est donc pas toujours identifiable de manière nette.

Partie centre du secteur : de nombreuses vallées fossiles

Cette partie concerne toute la zone comprise entre une ligne passant par Hoffen et Seltz et une ligne passant par Ohlungen et Bischwiller.

La coupe n°1 SO-NE passe au centre de la forêt de Haguenau à l'Est immédiat des zones d'absence de nappe du Plio-Quaternaire. Elle recoupe les coupes n°3 et 4.

Cette coupe montre bien la présence des vallées fossiles de l'Eberbach et de l'Halbmuehlbach formées par le surcreusement des marnes de l'Oligocène. La zone d'absence de nappe figurant sur la commune de Haguenau a été supprimée. Les ouvrages récents datant de 1996 dans cette zone montrent un niveau piézométrique à une cote de 140 m NGF environ et une épaisseur de 5 à 10 m de Plio-Quaternaire ce qui semble contredire l'absence de nappe proposée, d'autant plus que les formations rencontrées sont sableuses à caillouteuses. En revanche, les zones d'absence de nappe dans la forêt de Haguenau ont été conservées car elles correspondent bien à une remontée des marnes de l'Oligocène ainsi qu'à la présence de formations du Quaternaire très argileuses, où une discontinuité de la nappe existe donc.

Dans cette zone l'aquifère Plio-Quaternaire est puissant de 5 à 10 m. La lithologie des ouvrages rencontrés décrit des formations essentiellement sableuses blanches à rouges où les lentilles argileuses sont très peu présentes. La séparation entre les formations du Pliocène et du Quaternaire est souvent difficilement identifiable, l'altération des sables du Quaternaire d'origine vosgienne pouvant ressembler à la lithologie des sables du Pliocène. Le découpage déjà effectué sur les fiches techniques des ouvrages peut être remis en question dans la mesure où la description des sables est inchangée entre les deux types de formations. L'interprétation du toit du Pliocène peut donc être remis en question.

La coupe n°2 SO-NE passe à l'Ouest de la forêt de Haguenau. Elle recoupe la coupe n°4. On y distingue les 4 vallées fossiles mises en évidence par l'interprétation des isobathes du toit des marnes, à savoir les vallées fossiles de la Zinsel du Nord, du Brumbach, de l'Eberbach et de l'Halbmuehlbach.

Suivant l'axe de cette coupe, l'aquifère est alors puissant de 5 à 25 m, les plus grandes épaisseurs étant situées au niveau des vallées fossiles. Les fractions silteuses et argileuses se situent dans la partie Nord de la coupe dans la zone d'affleurement des alluvions du Quaternaire qui se retrouve directement en contact avec le toit des marnes. La lithologie rencontrée est caractéristique du Pliocène à savoir des sables et graviers gris avec des faciès plus graveleux à la base de la série. Mais elle est souvent mélangée avec les alluvions vosgiennes qui recouvrent le Pliocène très fréquemment. Au Nord de la

faille interceptant le trait de coupe, des formations silto-sableuses grises interprétées comme étant du Quaternaire ont été réinterprétées comme appartenant au Pliocène de sorte à être en accord avec la transition des zones d'affleurement du Pliocène et des alluvions récentes marquée sur la carte géologique. Au Sud, les sables du Pliocène se retrouvent sous couverture lœssique.

Les failles rencontrées sont de pendage et d'extension inconnues, leurs caractéristiques ont été estimées suivant l'évolution de la structure de l'aquifère déduite des forages et de l'agencement général du fossé rhénan.

La coupe n°3 NO-SE traverse la forêt de Haguenau dans sa partie Est, recoupe la coupe n°1 et passe à proximité de la coupe hydrogéologique tirée des archives passant à Soufflenheim (SIMLER L., GENDRIN P., 1974, coupe E de cette présente annexe). Elle met en évidence une dépression du mur de l'aquifère qui atteint une puissance maximale de 80 m. Les sables du Pliocène sont sub-affleurant entre la Sauer et l'Halbmuehlbach et ont une fraction argileuse très importante. On retrouve également l'évolution globale de l'épaisseur des sables du Pliocène qui augmente de Betschdorf à Soufflenheim en passant par une épaisseur maximale dans la dépression formée par les marnes.

Seul le forage le plus proche de Soufflenheim fait état de la présence d'une nappe perchée et de deux aquifères séparés par une couche silteuse (SCHWOERER P., 1978). La continuité de la couche silteuse séparant les deux aquifères a été interprétée sur la coupe mais cette limite peut-être rediscutée car de nombreuses passées argileuses sont présentes sur les forages plus au Nord de la coupe. Quant à la nappe perchée, elle est séparée des deux aquifères sous-jacents par une couche argileuse d'une quinzaine de mètres d'épaisseur. L'exutoire de cette nappe perchée a été placé dans les alluvions rhénans en accord avec la coupe hydrogéologique des archives (SIMLER L., GENDRIN P., 1974), aucune preuve d'une éventuelle source n'ayant été trouvée. Cette nappe perchée peut être liée à l'Eberbach et au Brumbach.

La coupe n°4 transversale passe à travers la zone d'absence de nappe entre les cours d'eau de l'Eberbach et du Brumbach et recoupe les coupes n°1 et 2. On y distingue un recouvrement constitué souvent de terre végétale ou de limons argileux de très faible épaisseur (< 5 m) dans la zone d'absence de nappe. Cependant, l'interprétation faite du toit des marnes de l'Oligocène a conduit à un décalage de cette zone d'absence de nappe. En effet, l'épaisseur de Plio-Quaternaire (environ 10 m) dans la partie Ouest cette zone délimitée ne semble pas interdire la présence d'une nappe. Cependant, peu d'ouvrages sont présents et leur fiabilité peut être discutée, la délimitation interprétée est donc à considérer avec précaution.

Bordure Est du secteur

Les alluvions rhénanes constituant en mélange avec le lœss récent la terrasse de Mothern ont une épaisseur estimée entre 5 et 10 m d'après quelques forages plus au Nord. Cette terrasse repose sur les formations du Pliocène qui, avec les sables et graviers rhénans anciens, se poursuivent sous le dépôt des alluvions rhénanes d'âge holocène. La transition entre la terrasse de Haguenau et de Mothern a été déduite en se basant sur une coupe plus au Nord (BIRTLER C., ELSASS P., 2006, coupe A de cette présente annexe) où la terrasse est séparée d'un horst par une faille normale. Cette même étude a montré que la nappe rhénane était en continuité avec la nappe de la terrasse de Mothern mais en discontinuité avec la nappe de la terrasse de Haguenau-Riedseltz.

La connexion entre les nappes du Plio-Quaternaire et Rhénane est très variable spatialement. Au niveau de Soufflenheim, les marnes de l'Oligocène se situent à 50 m de profondeur et les alluvions rhénanes d'une épaisseur inférieure à 5 m reposent sur les sables du Pliocène (SIMLER L., GENDRIN P., 1974). Le toit des marnes remontent ensuite vers l'Est, diminuant ainsi l'épaisseur du Pliocène et marquant la fin de l'aquifère du Pliocène. La cote maximale des marnes est atteinte à Roeschwoog,

pour ensuite redescendre brutalement dans la vaste plaine alluviale du Rhin remplie uniquement d'alluvions Quaternaire. Les alluvions du Pliocène semblent subsister sur quelques mètres d'épaisseur au-dessus du toit des marnes (SIMLER L., GENDRIN P., 1974).

Au Sud immédiat de la terrasse de Mothern, une coupe hydrogéologique met en évidence la présence de deux aquifères et la connectivité entre la nappe Plio-Quaternaire et la nappe rhénane (ROSE P., 1992, coupe D de cette présente annexe). Dans la partie Ouest de la coupe, le toit des marnes est sub-affleurant ce qui est en accord avec la zone d'absence de nappe délimitée par Monsieur ELSASS. La nappe du Plio-Quaternaire est séparée en deux par une couche argileuse de 2-3 m d'épaisseur. Il existe ainsi une nappe superficielle dont le mur est formé par les argiles et une nappe générale profonde dont le mur est constitué par les marnes de l'Oligocène. Le toit des marnes plonge rapidement vers l'Est sous les alluvions rhénanes. On distingue encore la structure en terrasses, la terrasse de Haguenau-Riedelseltz surplombant la plaine rhénane de 10 m environ.

Partie Sud du secteur

Cette partie concerne toute la zone au Sud d'une ligne passant par Ohlungen et Bischwiller.

Contrairement à la coupe fournie dans la notice géologique de la carte de Brumath de 1970, les formations du Quaternaire semblent être présentes à l'Ouest de la faille de Mommenheim-Hochstett. La limite de la nappe pourrait donc être rediscutée.

Une coupe SO-NE au SO de Haguenau (KREBS G., 1990, coupe F de cette présente annexe) illustre la présence d'une couche d'argile continue de quelques mètres d'épaisseur entraînant ainsi la présence de deux aquifères qui n'ont pu être mis en évidence que très localement (2 forages sur les 4 atteignent effectivement le 2^{ème} aquifère). Cette coupe permet également de mieux visualiser la transition qui s'effectue entre la couverture loessique du Sud et l'affleurement du Pliocène dans le secteur de Haguenau.

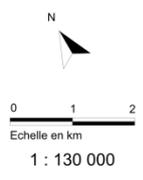
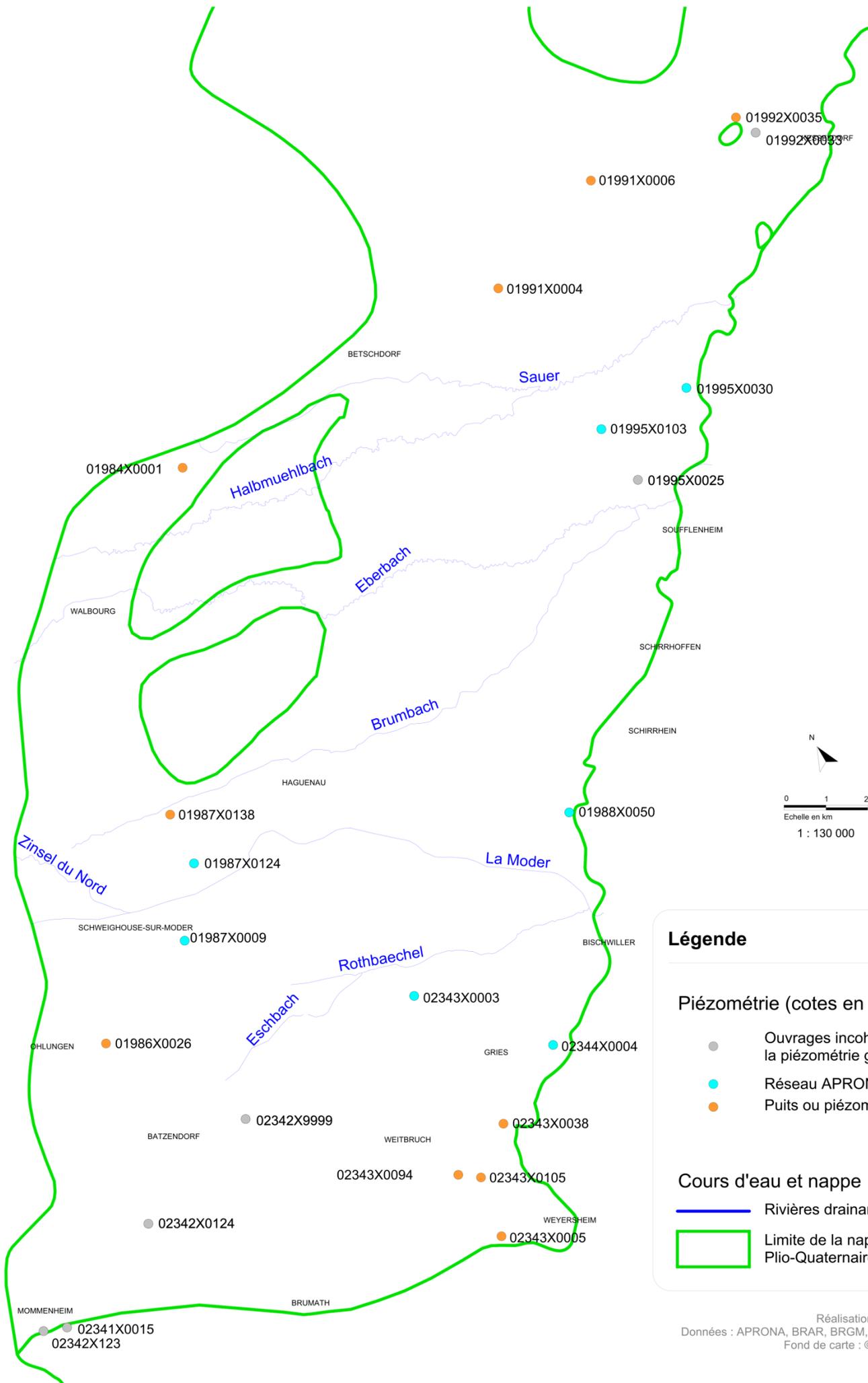
ANNEXE 8 :
Ouvrages visités pour la campagne de reconnaissance

N° BSS	Localisation	Type d'ouvrage	Profondeur de l'ouvrage d'après la BSS (m)	Profondeur de l'ouvrage mesurée (m)	Profondeur de l'eau (m) par rapport au repère	Repère de mesure	Hauteur du repère par rapport au sol (cm)	Altitude (m)	Diamètre de l'ouvrage (mm)	Contact	Observations
01697X0005	Lauterbourg Route de Schabenhardt	Puits	15,2	20				124,6	1200		Puits de 1617 creusé à 20m Pézo non accessible : pompe à main greffée directement dessus => pas de niveau mesurable Localisation par rapport au chemin d'accès correct
01993X0137	Neufville-près-Lauterbourg 2 rue de Niedelstrebach	Puits domestique	12,27	13	11,83	Dessus de la dalle couvrant le puits	63	139	1000		Puits situé dans la cour de l'habitation Rencontre des habitants Puits non utilisés et fermé => cofréaté ?
01695X0097	Wissembourg Marzenbruechel	Puits	30	Non mesuré				174			Pompe équipée directement sur bouverie inaccessible pour la mesure
01695X0093	Wissembourg AEP Haut-Hippocrène	Puits	41	Non mesuré	3,18	Bord supérieur du couvercle		154	400		Non examiné car sondage pour fragilité Couvercle en fonte fermé avec clé VHM Accessible
01695X0131F	Pézomètre APRONA à 10 m du puits 01695X0009	Pézomètre		15,65	3,26	Haut du tube métal	80	153,52	Diamètre intérieur du tube PVC : 50 Diamètre extérieur du surtube : 110		Fermé avec petit cadenas APRONA Accessible
01695X0075											NON RETROUVE sans doute enfoui sous les remblais de sable
01695X0099 et 01695X0098	Wissembourg Gellershof	Pézomètre	Indiqué "inconnu" 01695X0098	Ouvrage le plus au Sud : + de 25 m	16,25	Haut du tube	-25	173,48 (NN) Sommet du tube	Diamètre intérieur : 120		Plaque de protection à 3 boulons protégeant le tube métal muni d'une tête SEBA non fermée à la visite. Se ferme avec la petite clé 5 pans femelle Problème de coordonnées à 10 m près Accessible
01991X0011	Niedelstrebach	Puits communal	Indiqué "superficiel" 01695X0099	Ouvrage le plus au Nord : 19,70	13,91	Haut du tube	-8	173,47 (NN)	Diamètre intérieur : 120		Tube PVC avec tout-venant Situé à 5,5 m du pécédent puits. Accessible Couvercle SEBA. Se ferme avec la clé 5 pans mâle Situé à 13,9 m du puits le plus au Sud. Accessible
01995X0013	Munchhausen 1 rue du Rhin	Puits domestique	15,5	5,7	1,9	Dessus de la dalle couvrant le puits	120	153	Diamètre intérieur : 1200		Puits recouvert d'une dalle. Situé devant la mairie. Accessible
01993X0133		Sondage	30		13,23	Sommet du couvercle (maçonnerie)	45	123,9	Diamètre intérieur : 1000		Puits situé dans la cour de la maison Puits non utilisé par l'habitant, existe depuis 50 ans. Accessible 2 m de différence avec isoplatze tracée => burchette du battement de la nappe ??
01993X0135	Wintzenbach CE 111 Wintzenbach	Pézomètre	31,5								01993X0133 situé au bord de la route mais fermé à clé 01993X0135 situé au bord de la route mais fermé à clé Connecter le SMICTOM Tél. 03.88.54.84.00 7h-12h 13h-19h-19h30
01993X0004	Seltz Long D248 Nord de Seltz	Puits domestique	14,2	14,25	12,05	Couvercle au niveau du sol	0	123,52	Diamètre intérieur : au moins 1000 mm		Puits en briques utilisé pour l'AEP de l'habitation Problème de placement pour coordonnées 1 m de différence avec isoplatze tracée => burchette du battement de la nappe ??
01992X0103	Kesseldorf	Pézomètre	7,5								NON RETROUVE
01992X0042	Seltz Maison forestière	Puits	6,25					124	1200		NON RETROUVE Ancienne sablière abandonnée où la végétation a repris ses droits
01995X0135	Betschdorf Sablière Koenigsbruck	Pézomètre	5,05					125	112		Rencontre de l'habitant Mesure impossible car couvercle scellé et pompe à main dessus
01991X0019	Harten 15 rue du Ruessau	Puits domestique	4,55	4 (selon l'habitant)	3,5 (selon l'habitant)			149	1000 environ		Habitant absent mais puits visible dans la cour près du portail d'entrée Puits muni d'une pompe à main
01991X0003	Niederetschdorf Maison forestière de Niederetschdorf	Puits	3,5					149	1200		Office National Forêts 23 rue de la forêt 67620 Soufflenheim Tél. : 03.88.54.40.95
01991X0018	Helfen Brunnensalmrand	Puits						144			NON RETROUVE
01995X0103	Haguenau Erzlach	Pézomètre	6,7					132,91	80		RESEAU APRONA
01995X0019	Haguenau Maison forestière de Soufflenheim A22	Puits	9,1					136			Puits accessible même si habitant absent Souvent avec un pic Autre tout droit et ouvert porte à gauche, puits se situe tout près de la porte.
01984X001	Haguenau Maison forestière (61)	Puits	3	3,27	0,9	Haut du couvercle	16	147,8	Diamètre extérieur : 1490		Accessible même si l'habitant n'est pas présent. Puits refermé par une dalle

N° BSS	Localisation	Type d'ouvrage	Profondeur de l'ouvrage d'après la BSS (m)	Profondeur de l'ouvrage mesurée (m)	Profondeur de l'eau (m) par rapport au repère	Repère de mesure	Hauteur du repère par rapport au sol (cm)	Altitude (m)	Diamètre de l'ouvrage (mm)	Contact	Observations
01987X0451	Haguenau Local technique ONF	Sondage	7,5							Contact Hôtel de Ville Tel : 03 88 90 68 50 Direction des systèmes d'information Service de l'eau Tel : 03 88 73 71 71 Asterne : 06 61 66 28 87 Lyonnaise des eaux 36 Rue Rohwiller Bischwiller 08 10 39 53 95	Rencontre avec un agent de l'ONF qui n'a pas connaissance de cet ouvrage => contacter mairie Lyonnaise des eaux => ne peut pas me répondre, c'est plutôt la Lyonnaise des eaux Lyonnaise des eaux => ne peut pas ça juste la distribution => c'est un sondage, chercher peut-être autre chose
01987X0131	Haguenau SEW USOCOME Route de Soufflenheim	Piézomètre	10					150	64	SEW USOCOME 48-54 route de Soufflenheim B.P. 20185 F.67506 Haguenau, Codex Tel. : 03.88.73.67.00 Fax. : 03.88.73.66.00 sew@usocomme.com	Ouvrage au sein de la zone industrielle => téléphoner => personne ne peut me renseigner
01988X0042	Haguenau Nord décharge	Piézomètre	5,7					147			Chemin d'accès non trouvé (brûlé)
01988X0071	Haguenau SPA Route de Schirmeim	Puits AEP	10					148		Contact Hôtel de Ville Tel : 03 88 90 68 50 Direction des systèmes d'information Service de l'eau Tel : 03 88 73 71 71 Asterne : 06 61 66 28 87	Mairie et distributeur d'eau n'ont pas su me renseigner
01988X0001	Haguenau Maison forestière de Krauzhubel	Puits	6,8					146,6	1000		Maison abandonnée, grandes herbes, Puits non trouvé
01987X0001	Haguenau Schwartz (651A)	Puits	8,1					149			Pas de chemin d'accès trouvé
01983X0005	Haguenau Grandel (639)	Puits	9					162			Ouvrage trouvé à 10-20 m de l'emplacement donné par le GPS Complètement rebouché
01983X0002	Haguenau SNCF (610)	Puits	6,88					158,2			l'eau dans la zone. Difficilement accessible => non aperçu dans les faits
01987X0040	Haguenau Maison forestière Brudenhaus	Puits	7					163	1000		NON RETROUVE
01987X0098	Haguenau Prés D27	Piézomètre	6					151	32		NON RETROUVE mais puits chez l'habitant à une 50aine de m
01987X0098 bis	Haguenau Prés D27	Puits à proximité du puits non retrouvé précédent		0,73	0,23	Haut du couvercle	35	151	1600		Rencontre avec l'habitant. Pas sûr que puits est relié à la nappe
01987X0003	Haguenau Maison forestière Daechshubel (625)	Puits	4					152,4		Office National des Forêts Maison Forestière Daechshubel 67500 Haguenau Tel. 03 88 73 21 00	Mauvaises coordonnées Habitant absent => sonnette = cloche sur la porte
01986X0026	Wintershouse Ferme Luxenwald	Puits	5	12 (selon l'habitant)				176	1000 environ	Mme WELSCH 06.09.90.23.79	Rencontre avec l'habitant dalle béton au ras du sol à décoller et à soulever => mesure non faite Beaucoup d'eau selon l'habitant qui s'en sert pour 3 salles d'eau

N° BSS	Localisation	Type d'ouvrage	Profondeur de l'ouvrage d'après la BSS (m)	Profondeur de l'ouvrage mesurée (m)	Profondeur de l'eau (m) par rapport au repère	Repère de mesure	Hauteur du repère par rapport au sol (en)	Altitude (m)	Diamètre de l'ouvrage (mm)	Contact	Observations
0234200121	Mommenheim Kriegsgrube	Puits	32,1					149,7	125		NON RETROUVE (pairie)
0234200120	Brumath	Puits	12					157	52		Zone industrielle => piézomètre n'existe certainement plus
0234200116	Alsace Environnement	Fonçage	30					152	593		NON RETROUVE (pairie)
0234200124	Wahlenheim 20 rue Principale	Puits	9	5,75	2,82	Hauteur du couvercle	63	189	1300	Frère de l'habitant 06.79.02.97.36	Puits accessible dans la cour de la ferme
0234300125	Niederschaeffelsheim Neben Den Maimenhäuser	Puits	30							Mairie Niederschaeffelsheim 1 Place Mairie 67500 Niederschaeffelsheim 03 88 73 84 66	NON RETROUVE Se situe dans l'enceinte du stade => clôture et portail fermé Après renseignement auprès du maire, ouvrage n'a jamais été réalisé
0234300094	Gudenheim CET Weibbruch	Piezomètre	72					161		Communauté de communes de la basse Zorn 34 rue de la Wantzenau BP 34 67728 HOERDT	Ouvrage certainement situé au sein de la zone clôturée de la déchèterie => après contact par téléphone 2 piézomètres existaient : 1 a été endommagé, le deuxième est suivi annuellement.
0198700006	Hatten Maison forestière Rothsmatt	Puits domestique	5,3	5,29	2,49	Dessus de la dalle recouvrant le puits	65	137,7	1180	CEDEX Tél. 03.90.64.25.50 Monsieur PIOTSET Tél. 03.90.64.25.50	Accessible même si l'habitant n'est pas présent. Puits reformé par une dalle
0198500026	Haguenau Maison forestière du Dorlauberg	Puits domestique	3,4					132,6	1200	Christiane Roth-Schmitt 03 88 80 16 89	Habitant absent
0198500025	Haguenau Maison forestière de Erzlach	Puits domestique	4,4					132,6			Habitant absent
0198800014	Haguenau Gros chêne	Puits domestique	7					138	1000	AUBERGE DU GROS CHENE Route forestière de Schwabwiller Tél. 03 88 73 15 30	Personne contactée => ne possède pas de puits
0198700454	Haguenau Route de Forstheim	Piezomètre	6,47								NON RETROUVE
0198700117	Haguenau 48 route de Schirrhein	Puits	12					145	200		NON RETROUVE
0198700071	Haguenau Monsieur Constans	Puits domestique						138			Habitante rencontrée => non mesurable
0198700115	Haguenau Terrain des nomades	Puits	6					148			NON RETROUVE
0234200031	Niederschaeffelsheim Carrefour N° 63	Puits domestique	7,8					187,59	1000	Sebastien SCULPTEUR 48 rue du Général de Gaulle Tél non trouvé et mail n'a pas su me renseigner non plus	Habitant absent mais puits visible dans le jardin
0234200030	Kriegsheim Rothelsheimthal	Puits	7,5					186,85	1000		NON RETROUVE
Mommenheim	19 rue du Général de Gaulle	Puits		9 (selon l'habitant)						Monsieur André SCHMITT 19 rue du Général de Gaulle Tél. 03 88 51 66 55	Puits en gré devant la maison ayant fait l'objet d'une mesure il y a 2-3 ans par JAPRONA Accessible pour la mesure
0234300009	Gudenheim Kurzelhaag	Station-piézo	46,8					176	85		NON RETROUVE => grandes herbes de plus d'un mètre
0234300098	Gudenheim Gulgenklamm	Piezomètre	36					170	52		NON RETROUVE => pas de chemin d'accès, champ de maïs
0234300105	Gudenheim	Piezomètre						171			NON RETROUVE

ANNEXE 9 :
Réseau des ouvrages de la campagne piézométrique



Légende

Piezométrie (cotes en m NGF)

- Ouvrages incohérents avec la piézométrie globale
- Réseau APRONA existant
- Puits ou piézomètres

Cours d'eau et nappe

- Rivières drainant la nappe
- Limite de la nappe Plio-Quaternaire

ANNEXE 10 :
Carte piézométrique de septembre 1991

Carte piézométrique (septembre 1991)

Légende

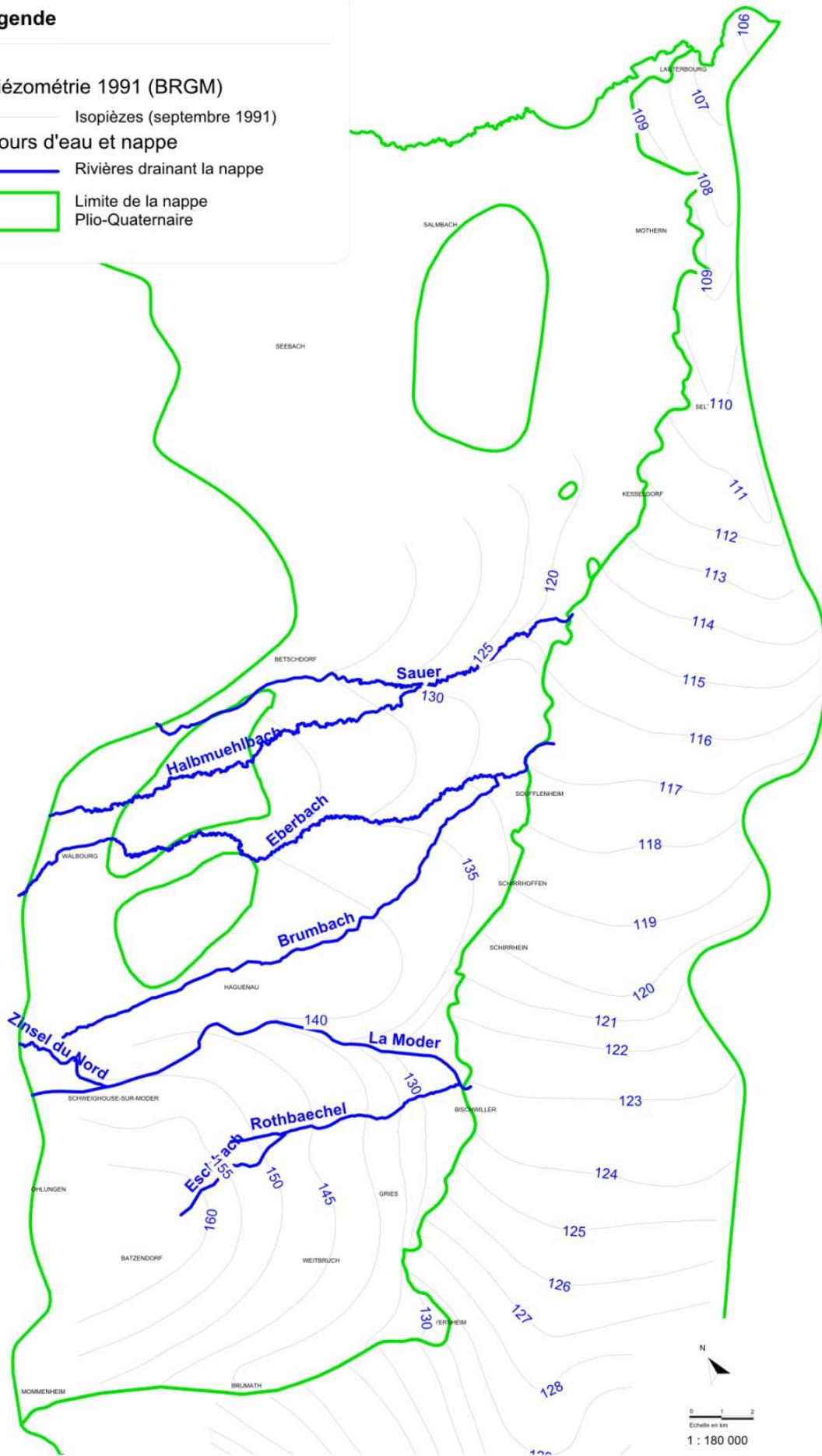
Piézométrie 1991 (BRGM)

— Isopièzes (septembre 1991)

Cours d'eau et nappe

— Rivières drainant la nappe

▭ Limite de la nappe Plio-Quaternaire

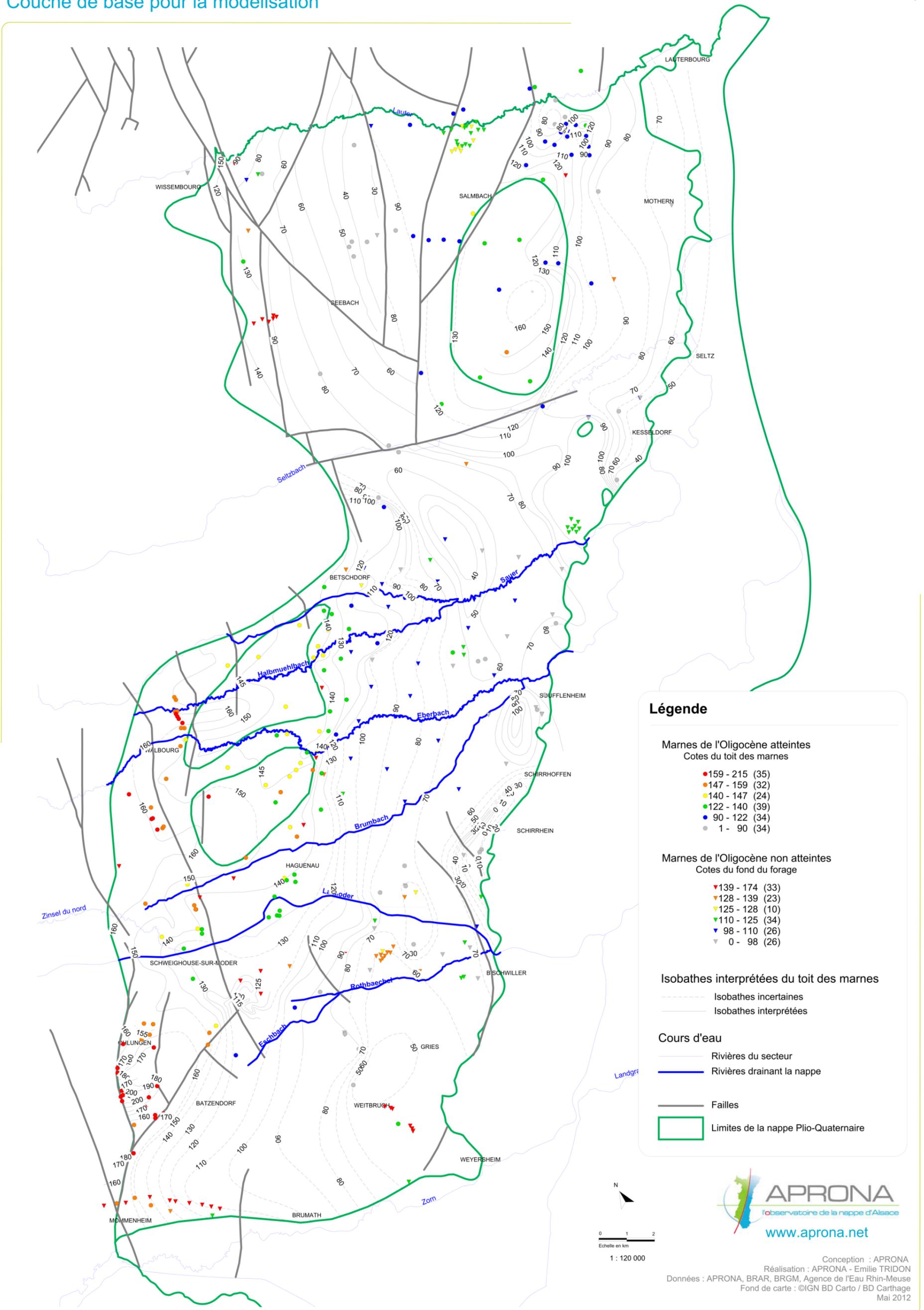


Conception : APRONA
Réalisation : APRONA - Emilie TRIDON
Données : APRONA, BRAR, BRGM, Agence de l'Eau Rhin-Meuse
Fond de carte : ©IGN BD Carthage / BD Carthage
Août 2012

ANNEXE 11 :
Carte interpolée sur la totalité du secteur du toit des marnes

Interprétation complète du toit des marnes de l'Oligocène

Couche de base pour la modélisation



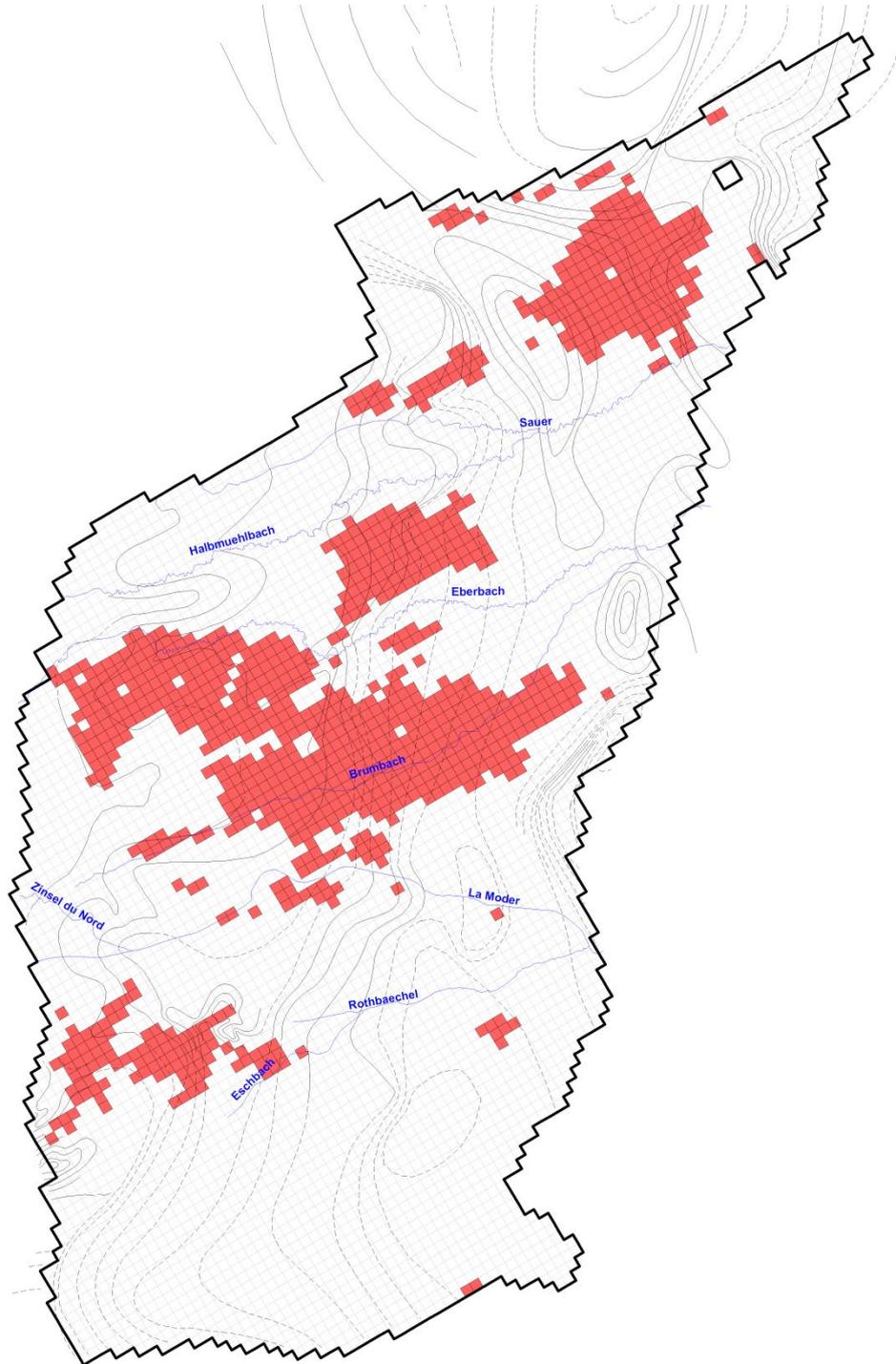
ANNEXE 12 : Localisation des puits de pompage pour l'alimentation en eau potable

Code BSS	Profondeur	Date réalisation	Type	Redevable	X_LA93	Y_LA93	Commune
01987HAGUENAU	10	0		0	1 053 485	6 870 682	
01987X0058	23	1970	AEP	330	1 047 660	6 867 595	SCHWEIGHOUSE-SUR-MODER
01988KALTENHOUSE	10	0		0	1 054 824	6 865 447	
01988X0017	68	1972		73 571	1 055 908	6 866 588	OBERHOFFEN-SUR-MODER
01988X0020	58	1961	AEP	330	1 055 095	6 864 648	BISCHWILLER
01988X0051	50	1991		73 571	1 055 898	6 866 608	OBERHOFFEN-SUR-MODER
01991BETSCHDORF	10	0		0	1 061 609	6 877 300	
01991HATTEN	10	0		0	1 066 461	6 877 097	
01995X0002	70	1969	AEP	420	1 063 241	6 869 422	HAGUENAU
02343X0019	63	1977	AEP	338	1 051 358	6 863 172	WEITBRUCH
02343X0044	70	2004	AEP	338	1 051 456	6 863 318	WEITBRUCH
02344BISCHWILLER	10	0		0	1 057 274	6 861 908	
02344X0138	42	1890		41 476	1 056 798	6 861 963	BISCHWILLER

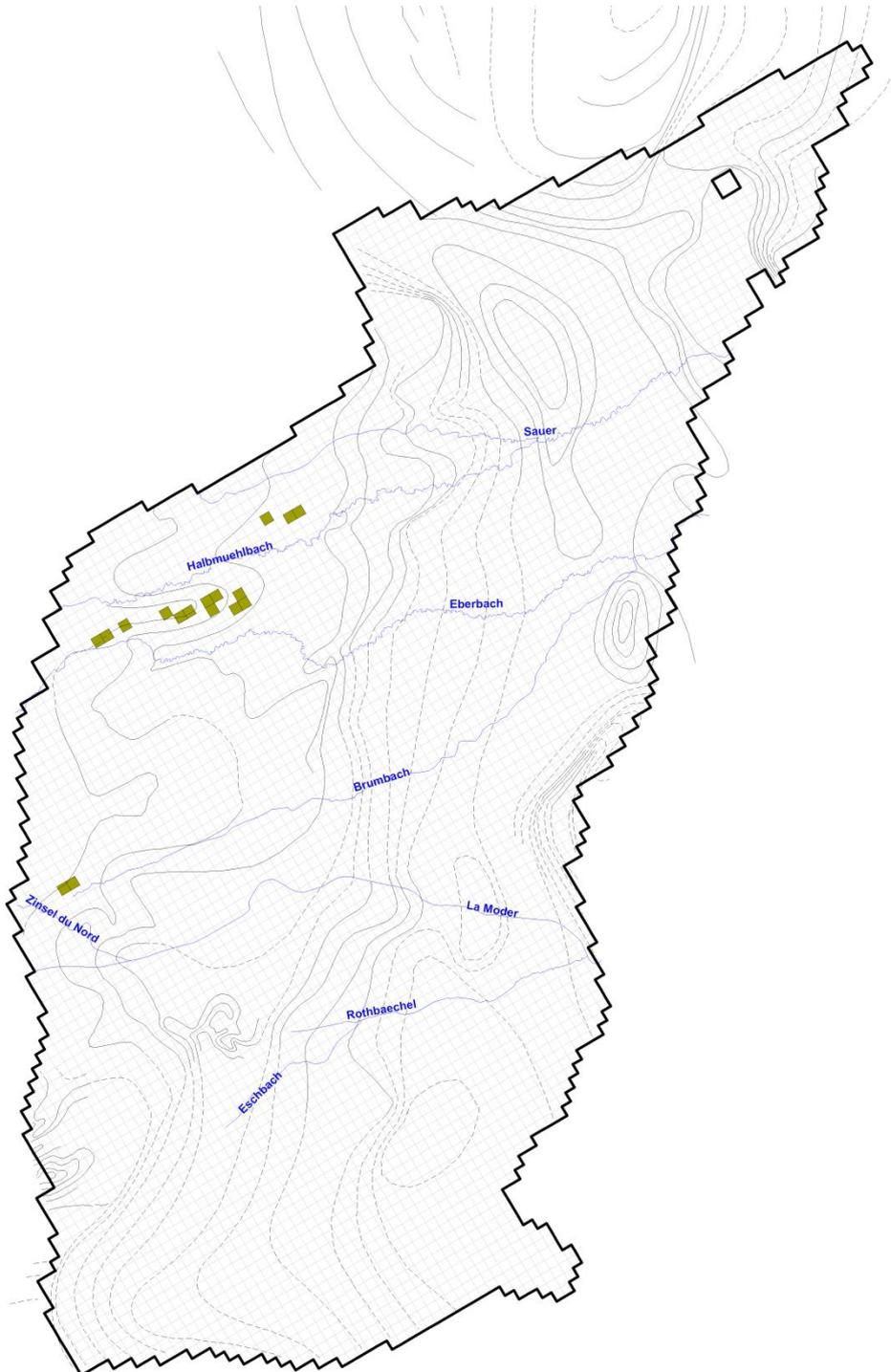
Code BSS	Exploitant	Code SISE	2009	Débit m ³ /j	MNT (m)	Bas de la crépine (m)
01987HAGUENAU		0	4 160	11,40	153	143
01987X0058	LYONNAISE DES EAUX - BISCHWILLER	3 264	489 552	1 341,24	158	135
01988KALTENHOUSE		0	1 552 110	4 252,36	148	138
01988X0017	54EME REGIMENT DE TRANSMISSIONS	0	15 160	41,53	142	74
01988X0020	LYONNAISE DES EAUX - BISCHWILLER	0	489 552	1 341,24	144	86
01988X0051	54EME REGIMENT DE TRANSMISSIONS	0	15 160	41,53	142	92
01991BETSCHDORF		0	4 480	12,27	145	135
01991HATTEN		0	808 450	2 214,93	132	122
01995X0002	SIE DE SOUFFLENHEIM ET ENVIRONS	944	275 133	753,79	136	66
02343X0019	SDE DE HOCHFELDEN	1 045	282 456	773,85	151	88
02343X0044	SDE DE HOCHFELDEN	3 655	282 456	773,85	150	80
02344BISCHWILLER		0	28 760	78,79	128	118
02344X0138	ETS HOSPITALIER DEPARTEMENTAL DE BISCHWILLER	0	67 610	185,23	135	93

ANNEXE 13 :
Carte piézométrique simulée et tableau
récapitulatif des points de contrôle

ANNEXE 14 : Débordements et mailles sèches



Localisation des débordements du modèle (mailles rouges). Les débordements sont localisés en trois grandes zones et sont dus à une épaisseur d'aquifère trop faible combiné à des recharges trop importantes par rapport aux perméabilités retenues. En fond de carte sont représentées les isobathes du toit des marnes (mur de l'aquifère).



Localisation des mailles dénoyées du modèle. Les quelques mailles sèches sont localisées dans la partie Ouest où l'épaisseur de l'aquifère est inférieure à 10 m. Les mailles dénoyées entre les cours d'eau de l'Halbmuehlbach et l'Eberbach sont dues à la présence d'une bosse topographique et à un mur de l'aquifère peu profond.

Cette étude sur la nappe du Plio-Quaternaire de la terrasse de Haguenau-Riedseltz a abouti à des résultats qui ont permis d'apporter une synthèse, non réalisée auparavant, des connaissances existantes sur ce secteur peu étudié. Elle a notamment abouti à la réalisation d'une carte du toit des marnes de l'Oligocène qui constitue le mur de l'aquifère Plio-Quaternaire étudié, d'une carte des iso-épaisseurs de l'aquifère et à l'interprétation de l'épaisseur du Quaternaire et des argiles lorsque ceux-ci se distinguaient du Pliocène.

Une actualisation de la carte piézométrique sur les 2/3 Sud du secteur à partir des mesures sur les cours d'eau drainant la nappe et des ouvrages choisis a été réalisée (juillet 2012).

Un modèle hydrodynamique monocouche de la nappe en régime permanent a pu être construit sur les 2/3 Sud du secteur à partir de l'ensemble de ces données recueillies.

La finalité de cette étude a été l'élaboration d'un réseau d'ouvrages de suivi quantitatif de la nappe

Mots clés

Hydrogéologie, terrasse de Haguenau, nappe du Pliocène, coupe géologique, réseau piézométrique, isobathes, Oligocène, BSS, argile, sable, loess, modélisation



**Association pour la protection de
la nappe phréatique de la plaine d'Alsace**
140 rue du Logelbach F-68000 COLMAR
Tél : 03 89 80 40 10 - Fax : 03 89 80 40 11
contact@aprona.net
www.aprona.net

Ecole Nationale Supérieure de Géologie
Rue du Doyen Marcel Roubault
54501 VANDŒUVRE LES NANCY
Tél : 03 83 59 59 59 – Fax : 03 83 59 64 64
ensg@ensg.inpl-nancy.fr
www.ensg.inpl-nancy.fr