

**Optimisation du réseau
piézométrique de la Nappe d'Alsace**

Rapport final

BRGM/RP-58670-FR
Octobre 2010

Octobre 2010

Optimisation du réseau piézométrique de la Nappe d'Alsace

Rapport final

BRGM/RP-58670-FR

Octobre 2010

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 10EAUJ01

S. Urban, M. Geneviev & S. Guignat

Vérificateur :

Nom :

Date :

Original signé par JF VERNOUX

Approbateur :

Nom : **P. WENG**

Date : 20/12/2010

Signature :

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique,
l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.

Mots clés : Nappe d'Alsace, Réseau quantitatif, Optimisation, DCE, piézométrie, hydrogéologie, Alsace, aquifère

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante : Urban S., Genevier M., Guignat S. (2010) - Optimisation du réseau piézométrique de la Nappe d'Alsace. Rapport final BRGM/RP-58670-FR. Octobre 2010

© BRGM, 2010, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

La nappe d'Alsace représente l'une des plus importantes ressources en eau souterraine d'Europe, soit environ 50 milliards de mètres cubes d'eau facilement accessibles mais, de fait, relativement vulnérables aux actions anthropiques. Cette vulnérabilité a conduit les autorités en charge de la protection et de la gestion de la ressource en eau à mettre en œuvre les moyens d'une surveillance piézométrique à l'échelle régionale.

Face à la prise de conscience d'une augmentation des teneurs en nitrates dans les eaux souterraines, à partir de 1970 il est apparu indispensable de compléter cette surveillance piézométrique d'une surveillance qualimétrique. Le SGR Alsace (auparavant Service Géologique d'Alsace – Lorraine) a ainsi dressé un premier bilan du suivi de la nappe et proposé des recommandations de suivi (« Observation de la nappe phréatique de la plaine du Rhin – Optimisation du réseau piézométrique » ALS/0687&, 1974).

La gestion et le fonctionnement de ces réseaux de mesure ont été ré-organisés en 1995, avec la création de l'Association pour la Protection de la Nappe Phréatique de la Plaine d'Alsace (APRONA). Cette association, co-financée à parts égales par la Région Alsace et l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse, a notamment pour mission la gestion du réseau piézométrique régional.

Dans le cadre de cette mission, l'APRONA gère un réseau d'environ 200 piézomètres dont les mesures sont stockées dans une base de données et transmises à la Banque ADES. Ce suivi quantitatif de la nappe fait l'objet de différents types de bulletins d'information hydrologiques. Les chroniques piézométriques sont également utilisées, périodiquement, pour les travaux d'actualisation et de mise à jour des modèles hydrodynamiques régionaux de la nappe d'Alsace, issus des projets transfrontaliers LIFE et INTERREG III-MONIT de la LUBW, mis à disposition de l'APRONA par la Région Alsace. Elles sont également utilisées pour le développement du modèle BRGM de la salure du Bassin potassique et du modèle transfrontalier de la salure de Fessenheim géré par le Regierungspräsidium Freiburg.

Dans un contexte d'optimisation du réseau demandé par l'Agence de l'Eau Rhin – Meuse et par la Région Alsace, l'objectif premier de cette étude a été de définir le réseau piézométrique minimal de référence qui doit rester pérenne.

Le travail a porté sur trois aspects complémentaires :

1. Réaliser une étude historique de l'évolution du réseau
2. Etablir un bilan des usages actuels et de ceux souhaités pour l'avenir
3. Déployer une méthodologie qui aboutira à une proposition de réseau optimisé

Le résultat de cette démarche a abouti à la délimitation de 42 zones homogènes de complexité différente couvrant la nappe d'Alsace et une partie des aquifères associés (formation plio-quaternaire de Haguenau-Riedseltz). 168 points de surveillance sont distribués entre ces zones afin d'assurer une représentation optimale.

Enfin, sur la base de l'étude statistique de L. Longuevergne sous la direction du BRGM, 10 nouveaux points de référence sont proposés en substitution à ceux existants pour la réalisation de bulletin périodique ou pour la surveillance de la masse d'eau dans le cadre de la Directive Cadre Européenne sur l'eau.

Sommaire

1. Introduction	9
2. Réseau piézométrique de surveillance de la nappe phréatique rhénane : synthèse historique	11
2.1. SUCCESSION DES ORGANISMES EN CHARGE DE LA GESTION DU RESEAU ET LEURS RELATIONS	11
2.2. CIENPPA : ORGANISME CLE DANS LA GESTION DU RESEAU.....	11
2.3. EVOLUTION DU RESEAU PIEZOMETRIQUE	13
2.3.1. De 1954 à 1974	13
2.3.2. Années 1970 : rationalisation du réseau	14
2.3.3. Le réseau piézométrique actuel (2009 - 2010)	20
3. Optimisation du réseau piézométrique actuel	23
3.1. METHODOLOGIE.....	23
3.1.1. Le réseau piézométrique actuel (2010) : objectifs et produits livrés	23
3.1.2. Découpage de la nappe d'Alsace en zones homogènes	28
3.1.3. Estimation d'une valeur de complexité pour chaque zone	38
3.1.4. Test de scénarios d'optimisation	41
3.2. LES ENJEUX DU RESEAU	42
3.2.1. Estimation quantitative patrimoniale	42
3.2.2. Modélisation hydrodynamique	42
3.2.3. Analyse statistique.....	43
3.2.4. Directive cadre Européenne sur l'eau	44
3.2.5. Zones de bordure du Piémont vosgien.....	45
3.2.6. Agglomérations urbaines.....	45
3.2.7. Mises à disposition directe des données	45
3.3. OPTIMISATION DU RESEAU: SCENARIO FINAL	46
3.4. POINTS DE MESURE DE REFERENCE : PROPOSITION DE MODIFICATION.....	47
4. Conclusion générale	53
5. Bibliographie.....	55

Liste des illustrations

Illustration 1 : localisation des secteurs de l'optimisation du réseau piézométrique des années 1970	16
Illustration 2 : synthèse sur la composition du réseau piézométrique avant et après l'optimisation (en bleu figurent des moyennes)	20
Illustration 3 : réseau piézométrique actuel (2010) de l'APRONA.....	21
Illustration 4 : les usages actuels du réseau piézométrique.....	28
Illustration 5 : contribution des trois vecteurs principaux issus de l'analyse ACP	31
Illustration 6 : carte krigée des projections de chaque piézomètre sur le cinquième vecteur propre et secteurs délimités par ce vecteur.....	32
Illustration 7 : secteurs délimités à l'aide du découpage BD LISA (entités hydrogéologiques)	33
Illustration 8 : secteurs délimités à l'aide du découpage des zones de nappes sub-affleurantes et les limites superficielles de bassins versants	34
Illustration 9 : secteurs redécoupés à l'aide de la cartographie moyenne des battements (source APRONA)	35
Illustration 10 : secteur redécoupé à l'aide de la carte des isopièzes basses-eaux (1991, source APRONA)	36
Illustration 11 : corrélation entre certaines zones découpées et la sectorisation issue du travail d'optimisation réalisé entre 1974 et 1977	37
Illustration 12 : découpage de la nappe d'Alsace en zones homogènes et réseau actuel	38
Illustration 13 : estimation des valeurs de battement moyen et de gradient hydraulique moyen pour chaque zone.	39
Illustration 14 : représentation de la complexité des zones par la combinaison des critères « battement moyen » et « gradient hydraulique ».	40
Illustration 15 : scénario final, Cartographie de la répartition des points de mesure	47
Illustration 16 : répartitions des piézomètres de référence actuellement utilisés.....	48
Illustration 17 : tableau récapitulatif des piézomètres de référence proposés.	49
Illustration 18 : positionnement des 10 nouveaux piézomètres de référence proposés	50

Liste des annexes

Annexe 1 Réseau de suivi de l'APRONA des zones humides de l'Illwald et du Ried	57
Annexe 2 Réseau de suivi quantitatif des eaux souterraines du district Rhin (arrêté préfectoral n°624 du 22 décembre 2006).....	61

Annexe 3 Scénario 1 : 42 points de mesure, soit 1 point par zone	65
Annexe 4 Scénario 2 : 100 points de mesure, soit 2 à 3 points par zones uniformes et 3 à 5 en zones complexes, modulé avec la surface	69
Annexe 5 Scénario 3 : 150 points de mesure, à partir des 100 points, équilibre entre zone complexe et points avec chronique historique	73
Annexe 6 Scénario 4 : toutes les chroniques historiques -149 points - complété en zones lacunaires	77
Annexe 7 Zones homogènes : tableau de synthèse du découpage.....	81
Annexe 8 Liste des piézomètres retenus.....	85

Liste des abréviations utilisées

ADES : portail national d'Accès aux Données sur les Eaux Souterraines

APRONA : Association pour la Protection de la Nappe Phréatique de la Plaine d'Alsace

CIENPPA : Commission Interministérielle d'Etude de la Nappe Phréatique de la Plaine d'Alsace

CUS : Communauté Urbaine de Strasbourg

DCE : Directive Cadre Européenne sur l'Eau

DIREN : Direction Régionale de l'Environnement

DNA : Dernières Nouvelles d'Alsace

DRAE : Direction Régionale de l'Architecture et de l'Environnement

DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

MDPA : Mines De Potasse d'Alsace

SCGAL : Service de la Carte Géologique d'Alsace et de Lorraine

SEMA : Service de l'Eau et des Milieux Aquatiques de la DIREN

SGAL : Service Géologique d'Alsace et de Lorraine

SRAEA : Service Régional de l'Aménagement des Eaux Alsace

VNF : Voies Navigables de France

1. Introduction

La nappe d'Alsace représente l'une des plus importantes ressources en eau souterraine d'Europe, soit environ 50 milliards de mètres cubes d'eau facilement accessibles mais, de fait, relativement vulnérables aux actions anthropiques. Cette vulnérabilité a conduit les autorités en charge de la protection et de la gestion de la ressource en eau à mettre en œuvre les moyens d'une surveillance piézométrique à l'échelle régionale.

Face à la prise de conscience d'une augmentation des teneurs en nitrates dans les eaux souterraines, à partir de 1970 il est apparu indispensable de compléter cette surveillance piézométrique d'une surveillance qualimétrique. Le SGR Alsace (auparavant Service Géologique d'Alsace – Lorraine) a ainsi dressé un premier bilan du suivi de la nappe et proposé des recommandations de suivi (« Observation de la nappe phréatique de la plaine du Rhin – Optimisation du réseau piézométrique » ALS/0687&, 1974).

La gestion et le fonctionnement de ces réseaux de mesure ont été ré-organisés en 1995, avec la création de l'Association pour la Protection de la Nappe Phréatique de la Plaine d'Alsace (APRONA). Cette association, co-financée à parts égales par la Région Alsace et l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse, a notamment pour mission la gestion du réseau piézométrique régional.

Dans le cadre de cette mission, l'APRONA gère un réseau d'environ 200 piézomètres dont les mesures sont stockées dans une base de données et transmises à la Banque ADES. Ce suivi quantitatif de la nappe fait l'objet de différents types de bulletins d'information hydrologiques.

Depuis le travail d'optimisation réalisé de 1974 à 1977, aucune réévaluation globale du réseau n'a eu lieu. Or, depuis ce premier travail, non seulement les ouvrages d'exploitation (ouvrages hydrauliques, prélèvements) ont pu modifier les facteurs d'influence du comportement de la nappe d'Alsace mais de nombreuses informations supplémentaires (nouvelles données acquises et nouvelles synthèses hydrogéologiques) ont enrichi sa connaissance.

A ce constat factuel s'ajoute la prise en compte de nouveaux enjeux tels que par exemple ceux liés à des modélisations hydrodynamiques régionales ou locales dans l'utilisation du réseau.

En conséquence, l'Agence de l'Eau Rhin – Meuse et la Région Alsace ont demandé au BRGM de réaliser une étude comprenant un bilan de l'évolution du réseau, une analyse de son état actuel en fonction des usages existants et souhaités pour l'avenir et enfin une proposition d'optimisation.

2. Réseau piézométrique de surveillance de la nappe phréatique rhénane : synthèse historique

Avant la création de l'APRONA, divers organismes se sont succédés pour assurer la gestion du réseau piézométrique de la Plaine d'Alsace.

2.1. SUCCESSION DES ORGANISMES EN CHARGE DE LA GESTION DU RESEAU ET LEURS RELATIONS

La gestion du réseau piézométrique d'Alsace a tout d'abord été à la charge du Service Régional d'Aménagement des Eaux (**SRAE**) Alsace. Le 21 novembre 1954, la Commission Interministérielle d'Etude de la Nappe Phréatique de la Plaine d'Alsace (**CIENPPA**) a été constituée par décision du Ministère du Commerce et de l'Industrie. Le réseau piézométrique du SRAE a ainsi été placé sous l'égide de cette commission qui a été chargée d'assurer la surveillance de la nappe sur le territoire alsacien.

En 1992, les SRAE et les DRAE ont fusionné pour créer les DIREN. La gestion du réseau était toujours assurée par la CIENPPA mais le réseau piézométrique était ainsi rattaché au Service de l'Eau et des Milieux Aquatiques (SEMA) de la **DIREN** et non plus au SRAE.

Enfin, le 28 mars 1995 a été créée l'**APRONA**, l'Association pour la Protection de la Nappe Phréatique de la Plaine d'Alsace, à l'initiative du Conseil Régional d'Alsace, de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse, des Conseils Généraux et de la Préfecture de la Région Alsace. Le réseau piézométrique de la nappe d'Alsace est donc depuis cette date à la charge de l'APRONA.

Outre la gestion des réseaux d'observation régionaux concernant la piézométrie (niveau de la nappe), l'APRONA est également chargée des réseaux de la qualité des eaux souterraines, de l'exploitation d'un modèle mathématique de nappe à grande échelle, de conduites d'opérations liées à la connaissance de la ressource, ainsi que de la mise à disposition des informations auprès des différents acteurs de l'eau.

Cette association regroupe des représentants du Comité de Bassin Rhin-Meuse, des collectivités locales ainsi que des usagers, industriels, agriculteurs ou associations de protection de la nature. Des personnalités compétentes sont également associées, et notamment un représentant du Ministère de l'Environnement du Bade-Wurtemberg.

2.2. CIENPPA : ORGANISME CLE DANS LA GESTION DU RESEAU

La CIENPPA a joué un rôle prépondérant dans la gestion du réseau piézométrique de surveillance de la nappe d'Alsace. Elle a été constituée en 1954 pour assurer la

surveillance de la nappe phréatique de la Plaine d'Alsace et a perduré jusqu'en 1995, lorsque l'APRONA a été créée.

La présidence de la CIENPPA fut confiée à Monsieur l'Ingénieur Général du Génie Rural Brunotte. En plus de son président la commission comprenait des représentants de divers services techniques publics ainsi que des représentants privés.

Un document technique datant de 1962 détaille l'origine de la commission, son rôle et ses réalisations à l'époque (CIENPPA, 1962).

Ainsi, ce sont les différents travaux entrepris pour corriger le cours du Rhin dès le XIX^{ème} siècle, puis l'apparition de nouvelles perspectives d'utilisation de l'eau de ce fleuve (irrigation agricole, implantation d'industries ayant de gros besoins en eau) qui ont conduit à la création de la commission. En effet, des craintes furent exprimées sur les deux rives du fleuve au fur et à mesure de la réalisation des programmes d'aménagement hydraulique, la poursuite des travaux pouvant avoir une incidence sur la nappe. Le but de la commission était donc d'observer l'évolution de la nappe en relation avec les différents facteurs qui influent sur son comportement.

Pour remplir le rôle qui lui était assigné, la commission s'est trouvée devant la nécessité de :

- tenir compte de la situation dans le passé, en faisant un inventaire des études réalisées ;
- mettre en place un dispositif d'observation, notamment pour la surveillance de la piézométrie de la nappe ;
- d'assurer l'exploitation et l'interprétation des résultats obtenus ;
- de provoquer et de coordonner différentes études.

Ainsi, avant la création de la commission, des études et des observations étaient réalisées par divers organismes. Les principaux sont :

- le service de la navigation, les renseignements fournis portent sur les variations du niveau du Rhin ;
- le service météorologique, un dispositif d'observation comportant plusieurs dizaines de pluviomètres fonctionnait depuis 1971 ;
- le service des eaux de Mulhouse, depuis très longtemps ce service accumulait des renseignements sur l'hydrogéologie de la région ;
- les services allemands, les variations du niveau de l'eau dans les principales rivières étaient suivies régulièrement à un certain nombre de stations. Un dispositif d'observation de la nappe avait également été mis en place avant la première guerre mondiale puis repris et complété entre 1940 et 1944 ;

- l'électricité de France, de nombreux puits ont été observés depuis 1928 ;
- le génie rural, le réseau d'observation allemand fut partiellement repris en 1944 par les services du Génie Rural ;
- les Services des Eaux de Colmar et de Strasbourg, une série de renseignements sur les puits d'exploitation et sur la qualité chimique des eaux livrées à la consommation était disponible.

La commission a mis en place un dispositif d'observations qui porte sur différents thèmes :

- la nappe (quantité mais également qualité avec notamment les chlorures mesurées dans les eaux souterraines du bassin potassique) ;
- les cours d'eau ;
- la pluviosité ;
- et l'irrigation.

L'exploitation des résultats issus du dispositif d'observations était assurée par le secrétariat de la CIENPPA. Un premier travail consistait à classer puis à reproduire les renseignements recueillis, de façon à les rendre utilisables. Différents documents étaient produits telle que la carte du toit de la nappe d'Alsace qui était établie chaque année pour les débits maxima et minima du Rhin.

L'interprétation de tous les résultats collectés permettait de mettre en évidence les modifications qui pouvaient se produire, notamment sur la nappe et d'en rechercher les origines. Des mesures étaient alors adoptées dans le but d'éviter une aggravation du phénomène et dans le meilleur des cas afin de retrouver la situation initiale.

2.3. EVOLUTION DU RESEAU PIEZOMETRIQUE

Comme vu précédemment, la gestion administrative du réseau a évolué depuis les années 1950, mais le réseau piézométrique lui-même a évolué au gré des différents objectifs fixés et des études réalisées.

2.3.1. De 1954 à 1974

Le rapport de la CIENPPA rédigé en 1962 (CIENPPA, 1962) indique que le réseau d'observation de la nappe comportait au total 219 puits ou tubes piézométriques répartis entre Bâle et Strasbourg sur une superficie d'environ 5 000 km². Dans la mesure du possible, un certain nombre de stations déjà observées dans le passé avaient été reprises pour constituer le réseau en 1954. Les relevés étaient assurés chaque semaine à date fixe par des observateurs sous contrôle des Services du Génie Rural et de l'Electricité de France. Les résultats de ces mesures étaient présentés sous forme de graphiques indiquant la profondeur de l'eau en fonction du temps.

2.3.2. Années 1970 : rationalisation du réseau

Depuis les années 1950 plusieurs réseaux de surveillance de la Plaine d'Alsace se sont constitués de façon indépendante amenant ainsi progressivement à une inflation voire une redondance des points de mesure et des résultats obtenus.

En conséquence, en 1974, la CIENPPA a confié au service de la carte géologique d'Alsace et de Lorraine (SCGAL) la rationalisation du réseau constitué par l'ensemble des piézomètres surveillés en 1974. Cette rationalisation visait à une harmonisation et une réduction du nombre de points de mesures.

a) Le réseau piézométrique en 1974 (Simler, 1975)

De nombreux organismes ont été amenés à mettre en place, pour leurs besoins propres, des réseaux piézométriques régionaux ou locaux et à les exploiter d'une manière temporaire ou permanente avec des fréquences de mesures variables :

- le SRAE Alsace sur l'ensemble de la plaine avec un maillage relativement irrégulier, la densité maximum des points se situant le long du Rhin.

Ce réseau, créé depuis plus de 20 ans à cette époque, avait essentiellement pour but de définir, à l'échelle du 1/100 000, les conditions d'écoulement de la nappe phréatique et de suivre l'évolution de cette dernière à la suite des divers travaux d'aménagement le long du fleuve ;

- le SCGAL sur l'ensemble de la plaine. Son réseau est complémentaire de celui du SRAEA, en particulier le long de la zone d'alimentation occidentale de la nappe phréatique. Ce réseau, plus récent, avait été établi pour réaliser des études particulières, locales ou régionales et notamment des études faisant appel aux techniques de simulation aboutissant à la mise au point de modèles de gestion ;
- EDF le long du Rhin, en particulier au niveau des chutes de barrages. Ces réseaux ont été exploités intensivement au moment des travaux puis abandonnés ou cédés en partie au SRAEA pour la surveillance piézométrique générale de la nappe ;
- le Service de la Navigation, dans les zones industrielles situées à côté des ports, en bordure du Rhin et des grands canaux existants ou projetés ;
- certains organismes (SOCOTEC, LPC) pour des travaux de génie civil.

Un inventaire systématique de tous les points d'observation a été effectué en 1974 par le SGAL (BRGM, 1974) et a permis de comptabiliser toutes les stations en plaine d'Alsace. D'après le rapport, 2500 stations avaient été totalisées et il est indiqué que les relevés piézométriques stockés au SGAL dans des fichiers informatiques ne concernaient qu'environ 2000 stations, le secteur de la nappe Mulhouse-Colmar-Sélestat n'ayant pas entièrement été mis en mémoire. Cependant, après vérification et

d'après les chiffres indiqués dans les différents rapports traitant de la rationalisation du réseau (Simler, 1975 ; Simler, 1976 ; Krebs 1977), le nombre de stations s'élevait plutôt à environ 1300.

b) Rationalisation du réseau piézométrique dans les années 1970

• Objectifs du réseau piézométrique régional et méthode de rationalisation employée

Les objectifs de ce nouveau réseau d'observation piézométrique d'intérêt régional étaient d'une part, couvrir l'ensemble de la plaine rhénane et, d'autre part, fournir un indicateur de l'évolution de nappes présentant un intérêt régional, telle que la nappe du pliocène de Haguenau qui s'étend sur environ 150 km².

Le groupe d'étude « réseau piézométrique » impliqué dans les travaux de rationalisation comprenait des représentants des organismes suivants :

- Agence financière de bassin Rhin-Meuse ;
- Service de la Carte Géologique d'Alsace et de Lorraine (SCGAL) ;
- Service des Mines ;
- Service Régional de l'Aménagement des Eaux Alsace (SRAEA).

La méthode de rationalisation utilisée (Simler, 1975 ; Simler, 1976 ; Krebs, 1977) a fait appel aux connaissances acquises lors de la réalisation des modèles de la nappe, ceux-ci ayant pour but de reproduire la piézométrie observée sur le terrain. Les modèles produits ainsi que la connaissance hydrogéologique de l'aquifère ont permis de délimiter des zones homogènes à l'intérieur desquelles les piézomètres réagissent de façon similaire. Dans chaque zone ainsi définie, un ou deux piézomètres ont été retenus en tenant compte des critères suivants :

- situation plus ou moins centrale de l'ouvrage à l'intérieur de la zone, de façon à ce qu'il soit le plus représentatif possible ;
- historique piézométrique le plus complet possible ;
- caractéristiques connues du point d'eau telles que la profondeur ou le diamètre, afin de s'assurer de la pérennité des mesures ;
- facilité d'accès.

La rationalisation du réseau piézométrique de la nappe d'Alsace a été réalisée par secteur, au fur et à mesure de la construction des modèles (Illustration 1).

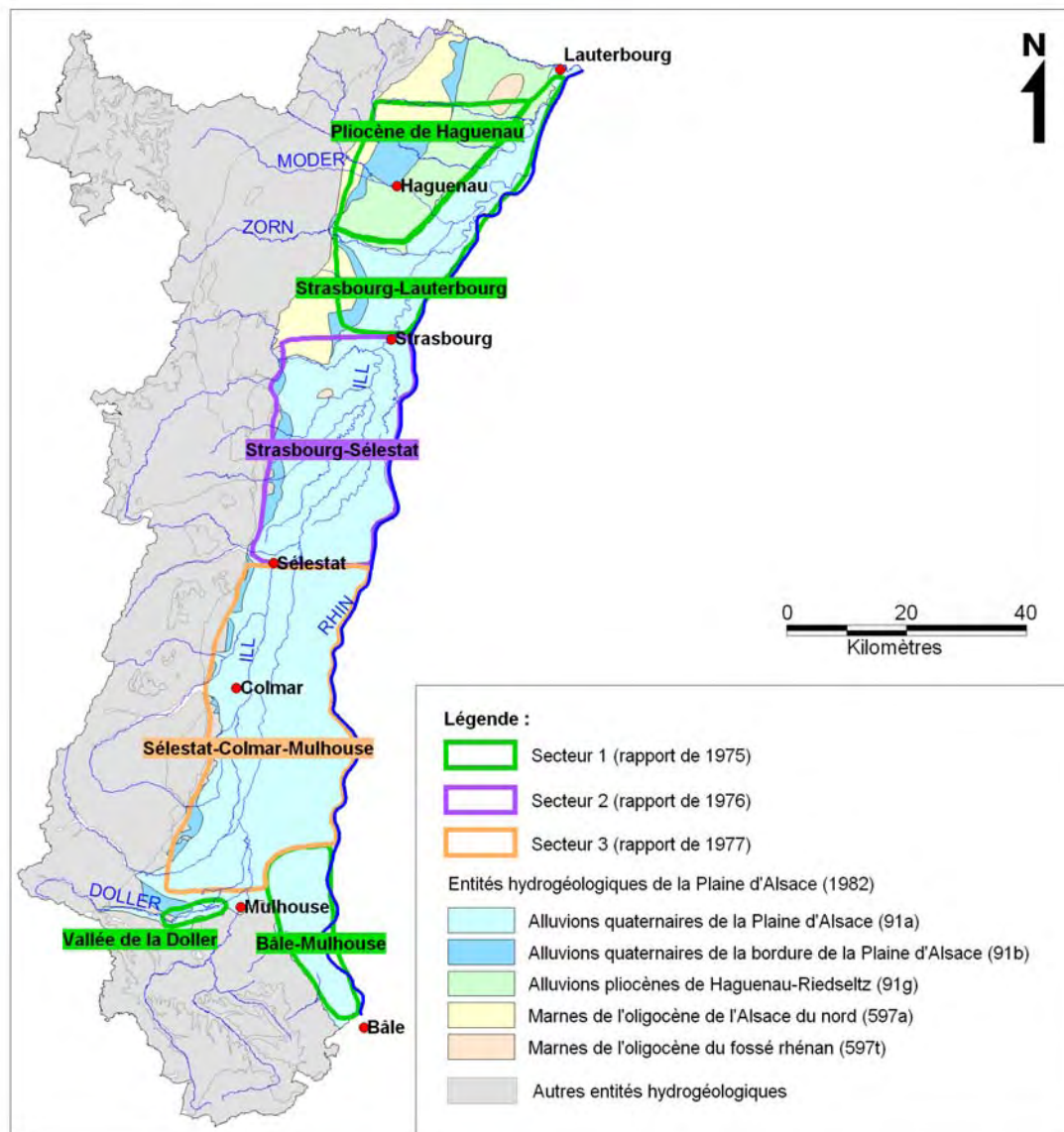


Illustration 1 : localisation des secteurs de l'optimisation du réseau piézométrique des années 1970

Le rapport concernant la rationalisation du premier secteur date du 17 mars 1975 et il concerne les sous-secteurs suivants :

- Bâle-Mulhouse ;
- Strasbourg-Lauterbourg ;
- Nappe alluviale de la Doller ;
- Nappe du pliocène de Haguenau.

Le rapport concernant le second secteur date du 9 novembre 1976 et concerne la zone de Strasbourg-Sélestat.

Le rapport traitant du troisième secteur concerne la zone de Mulhouse-Colmar-Sélestat et date du 15 décembre 1977.

• Secteur 1 : Bâle-Mulhouse, Strasbourg-Lauterbourg, nappe alluviale de la Doller et nappe du pliocène de Haguenau (Simler, 1975)

Ce secteur a été le premier à faire l'objet d'une simulation par modèle analogique électrique, la rationalisation y a donc débuté.

Bâle-Mulhouse

D'une superficie voisine de 220 km², ce sous-secteur est constitué des alluvions rhénanes reposant sur un substratum essentiellement marneux et d'épaisseur variable.

96 points d'observations étaient relevés à une fréquence hebdomadaire ou mensuelle par le SRAEA et le SCGAL. Les relevés du SRAEA dataient d'environ 15 à 20 ans tandis que ceux du SCGAL démarrèrent en 1968 lorsque l'étude hydrodynamique fut entreprise.

La zonation de la piézométrie a permis de délimiter 7 zones homogènes sur lesquelles 19 piézomètres ont été retenus pour le nouveau réseau piézométrique régional.

Strasbourg-Lauterbourg (ou Strasbourg nord)

Les alluvions rhénanes au nord de Strasbourg s'étendent sur environ 400 km². Elles reposent sur les alluvions pliocènes qui sont beaucoup moins perméables. Le soubassement de ce complexe alluvial plio-quatenaire est formé par les marnes de l'Oligocène.

210 points de mesure ont été inventoriés sur ce sous-secteur. Ils étaient relevés par le SRAE, le SGAL et par la SOCOTEC pour quatre d'entre eux. Les relevés du SRAEA dataient d'environ 15 à 20 ans tandis que ceux du SCGAL ne démarrèrent qu'en 1968.

Au sein des 6 zones définies lors de la zonation de la piézométrie, 24 piézomètres ont été sélectionnés.

Secteur du pliocène

Les alluvions pliocènes sableuses, qui reposent sur les marnes de l'Oligocène, s'étendent sur une superficie d'environ 300 km².

Le réseau d'observation comprenait 90 points dont les relevés étaient assurés par le SRAE pour quinze d'entre eux, à une fréquence hebdomadaire, et par le SCGAL pour les 75 autres, à des rythmes variables.

La zonation de la piézométrie de la nappe du pliocène a permis d'identifier 9 zones différentes. Treize piézomètres ont ainsi pu être sélectionnés sur l'ensemble du pliocène.

Vallée de la Doller

La vallée de la Doller s'étend sur une superficie d'environ 60 km². Les alluvions d'origine vosgiennes au sein desquelles se trouve la nappe sont sableuses en superficie et plus argileuses en profondeur.

Plus de 400 emplacements d'observation ou de mesure ont été inventoriés dans ce secteur. Une campagne de mesure sur la plupart de ces points a été effectuée en 1971 dans le cadre de l'étude hydrogéologique de la vallée de la Doller. En 1975, le SCGAL n'effectuait plus de relevés dans cette zone. Seuls 7 points étaient encore observés par la ville de Mulhouse, dans la zone de captage située entre Reiningue et Mulhouse.

La zonation de la piézométrie a permis de délimiter deux zones sur lesquelles 4 piézomètres ont été retenus pour le nouveau réseau piézométrique régional.

En somme, sur un total d'environ 800 points d'observation, 60 piézomètres ont été retenus sur le secteur 1.

• Secteur 2 : Strasbourg-Sélestat (Simler, 1976)

Le modèle analogique électrique de la nappe entre Strasbourg et Sélestat a été achevé en 1976, permettant au SGAL de procéder à la rationalisation du secteur.

Ce secteur, d'une superficie de 700 km², correspond à la plaine alluviale du Rhin au sud de Strasbourg. Les alluvions rhénanes perméables reposent sur les alluvions pliocènes plus argileuses. Le soubassement de ce complexe alluvial plio-quaternaire est formé des marnes oligocènes.

Le réseau d'observation piézométrique comprenait 216 points de mesure au total. Leur gestion était assurée par les organismes suivants :

- le SRAEA relevait 77 points à une fréquence hebdomadaire ;
- la SOCOTEC relevait 26 points, tous situés dans l'agglomération strasbourgeoise, à une fréquence bi-mensuelle ;
- le SGAL relevait 113 points, 12 de façon bi-mensuelle et 101 de façon mensuelle.

La zonation de la piézométrie de ce secteur a conduit à la délimitation de 11 zones dont la piézométrie était homogène. 31 points d'eau ont été retenus pour le réseau piézométrique régional. Par rapport au réseau observé jusqu'en 1975, cette rationalisation a permis une diminution d'environ 85 % du nombre de points suivis.

• Secteur 3 : Mulhouse-Colmar-Sélestat (Krebs, 1977)

Le secteur Mulhouse-Colmar-Sélestat constituait la dernière partie de la plaine où le réseau piézométrique restait à harmoniser. En 1977, les progrès accomplis dans le domaine du calcul numérique ont permis l'utilisation d'un modèle analogique mathématique pour la simulation du système aquifère. Les résultats ainsi obtenus étaient de meilleure qualité qu'avec les modèles analogiques électriques utilisés pour les deux premiers secteurs, notamment lors de la phase de calage.

Ce secteur, d'une superficie voisine de 1200 km², est également constitué par des alluvions sablo-graveleuses quaternaires qui reposent sur le substratum marneux oligocène.

Le réseau d'observation piézométrique comprenait un total de 292 points de mesure. Sa gestion était assurée conjointement par les organismes suivants :

- le SRAEA relevait 126 points à une fréquence hebdomadaire depuis une vingtaine d'années ;
- le SGAL a relevé 152 points avec une fréquence bimensuelle entre juillet 1974 et juin 1976 ;
- la ville de Mulhouse relevait mensuellement, depuis 1970, 14 points.

L'évolution piézométrique du secteur a été regroupée en 14 zones homogènes. 50 points ont été retenus, permettant une diminution de 83 % du nombre total des points de mesure.

C'est avec le secteur de la nappe compris entre Mulhouse et Sélestat que s'est achevée la rationalisation du réseau piézométrique de l'ensemble de la plaine d'Alsace (nappe rhénane et pliocène).

• Réseau issu de l'optimisation

Suite à l'optimisation du réseau piézométrique de la nappe d'Alsace, le nombre de points d'observation est passé d'environ 1300 à 141, ce qui représente un point pour environ 19 km². En moyenne, le nombre de piézomètres du réseau régional a été diminué de 87 %.

Ces piézomètres ont été retenus pour être observés à une fréquence hebdomadaire. Ce suivi était assuré par le SRAE Alsace.

Entre 1974 et 1979, les rapports sur la piézométrie de la nappe d'Alsace ont été réalisés par le SGAL (Monsieur L. Simler) puis ils ont été réalisés conjointement par le SRAE et le SGAL, toujours sous l'égide de la CIENPPA.

Secteur		Superficie (km²)	Nombre de zones définies	Points avant optimisation	Km²/point	Points après optimisation	Km²/point	Pourcentage de réduction
1	Bâle - Mulhouse	220	7	96	2,3	19	11,6	80%
	Strasbourg - Lauterbourg	400	6	210	1,9	24	16,7	89%
	Nappe du Pliocène de Haguenau	300	9	90	3,3	13	23,1	86%
	Nappe alluviale de la Doller	60	2	400	0,2	4	15,0	99%
				796		60		
2	Strasbourg - Sélestat	700	11	216	3,2	31	22,6	86%
3	Mulhouse - Colmar - Sélestat	1200	14	292	4,1	50	24,0	83%
		2880	49	1304	2,5	141	18,8	87%

Illustration 2 : synthèse sur la composition du réseau piézométrique avant et après l'optimisation (en bleu figurent des moyennes)

Le réseau, officiellement composé de 141 points, était en pratique complété par 60 autres piézomètres jugés utiles de surveiller par les ingénieurs en charge du réseau. Les données issues de ces 60 points étaient traitées de la même façon que celles des 141 autres piézomètres mais n'apparaissaient pas dans les rapports rédigés par la commission interministérielle.

2.3.3. Le réseau piézométrique actuel (2009 - 2010)

N'ayant pas subi de modification majeure depuis les années 1970, le réseau piézométrique actuel (voir illustration 3) géré par l'APRONA est composé de 195 piézomètres suivis à différentes fréquences : horaire, hebdomadaire et mensuelle pour quelques points. Ce réseau a donc intégré de façon officielle et à quelques modifications historiques près, les 60 points qui étaient suivis en plus des 141 points issus de la rationalisation des années 70.

Parmi les évolutions mineures figure l'ajout de deux points d'observation dans le secteur de Mommenheim. En effet, ils ont été rajoutés pour optimiser la surveillance de la piézométrie dans cette zone. Ils sont situés le long de la Zorn sur les communes de Mommenheim et Brumath et sont suivis à une fréquence hebdomadaire par des observateurs.

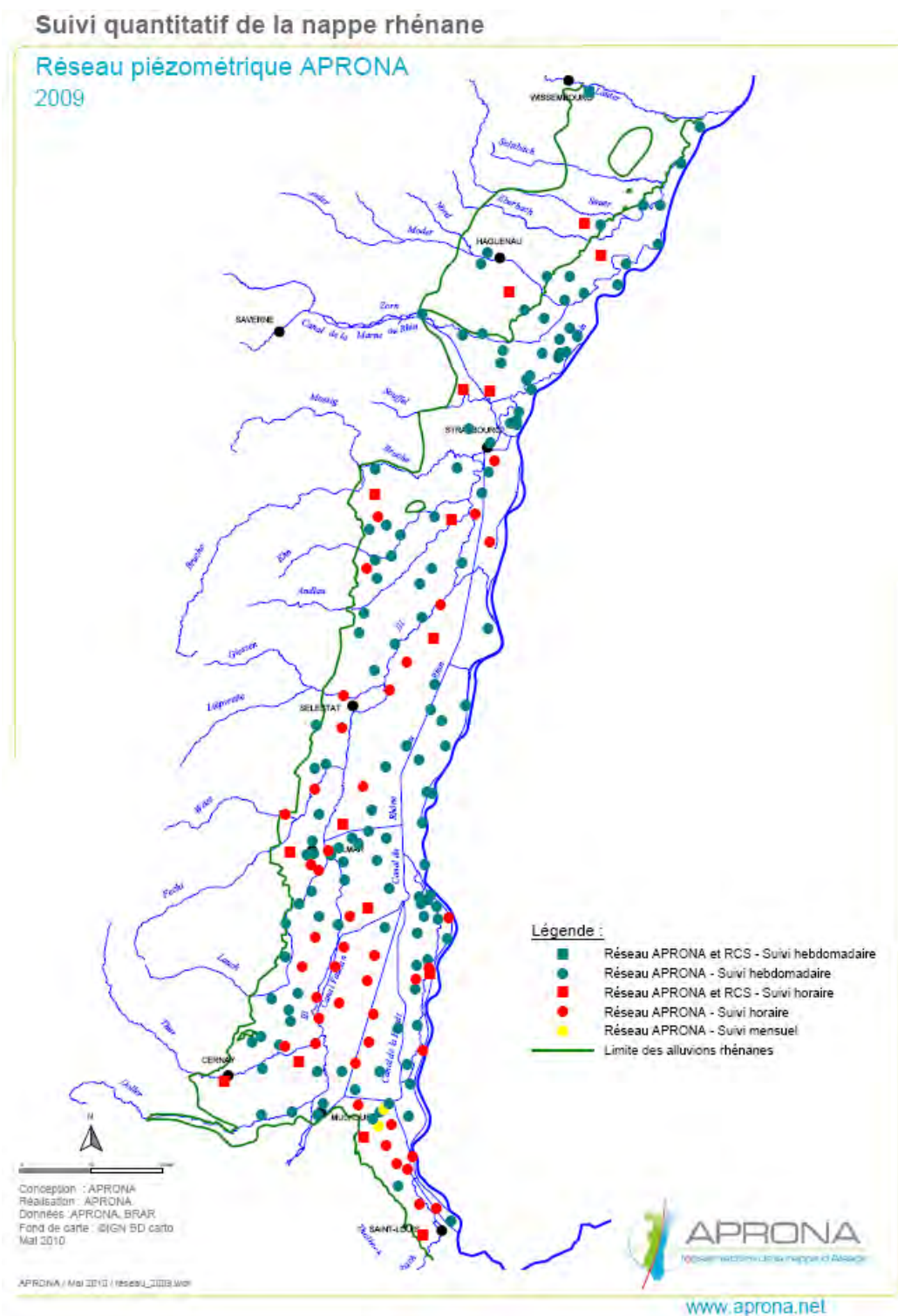


Illustration 3 : réseau piézométrique actuel (2010) de l'APRONA

3. Optimisation du réseau piézométrique actuel

3.1. METHODOLOGIE

Suite à la présentation de l'historique et de la situation actuelle du réseau (constitution et objectif) au cours de la réunion du comité de pilotage du 04/06/2010, plusieurs interrogations ont été émises qui ont servi à définir l'approche méthodologique.

Deux axes de questionnements ont ainsi orienté ce travail :

- Quelles sont les utilisations actuelles du réseau APRONA ; quels usages sont rattachés au réseau ? A quels éléments du réseau font appel les livrables (nombre de points, fréquences, etc.) ? Peut-on regrouper ces besoins et livrables en terme d'objectifs distincts ?
- Le réseau actuel répond-il à des enjeux de connaissance qualitative patrimoniale et d'appui à des modélisations hydrodynamiques ? Peut-il être optimisé en fonction de ces objectifs ? existe-t-il d'autres enjeux susceptibles de se superposer à ces deux objectifs primordiaux ?

3.1.1. Le réseau piézométrique actuel (2010) : objectifs et produits livrés

Un entretien avec la direction de l'APRONA parallèlement à une collecte d'informations a permis d'identifier les objectifs actuels du réseau piézométrique :

- suivre l'évolution annuelle et interannuelle du niveau général de la nappe rhénane (réseau DCE) ;
- fournir des informations homogènes et fiables, à l'échelle régionale, aux usagers (collectivités, administrations, décideurs publics, bureaux d'études, aménageurs et particuliers) sur l'état de la ressource souterraine et sur les contraintes liées à la proximité du toit de la nappe par rapport au sol ;
- acquérir, à l'échelle régionale, des chroniques piézométriques régulières, pérennes et représentatives pour la mise à jour de modèles hydrodynamiques ;
- constituer des chroniques de données continues, homogènes et à l'échelle régionale pour déterminer, sur une longue période, des « valeurs caractéristiques » des aquifères et de détecter le cas échéant d'éventuels signes de surexploitation ou déterminer les secteurs où des actions prioritaires sont à engager ;
- acquérir une meilleure connaissance du fonctionnement de l'aquifère par des enregistrements continus des niveaux, associés le cas échéant à des relevés complémentaires (pluviométrie et hydrométrie) dans des secteurs plus localisés (zones de bordures, proximité cours d'eau ou Rhin ...) ;

- produire des données en temps réel ou légèrement différé pour informer les cellules de crise (type Commission Départementale Sécheresse).

Dans le but de répondre à ces objectifs, divers documents sont produits par l'APRONA :

- bulletin hydrologique mensuel (en collaboration avec la DREAL Alsace) ;
- bulletin hydrologique de la DREAL de bassin (fourniture mensuelle des données uniquement) ;
- bulletin des niveaux de nappe avec une parution mensuelle dans la presse régionale (DNA) ;
- bancarisation des données sur ADES ;
- rapport piézométrique annuel ;
- rapports ou notes relatifs à la gestion du réseau piézométrique (nivellement, base de données, etc) ;
- carte piézométrique basses eaux 1991 actualisée ;
- carte piézométrique moyennes eaux 2009. Elle a été établie à partir des points du réseau piézométrique régional mais également à partir des puits des réseaux de la CUS, de Guebwiller, des MDPA, de Mulhouse, d'Obernai, de la Robertsau, de VNF et de celui des zones humides.

Parmi les utilisations des points du réseau piézométrique figure le réseau de connaissance patrimonial des eaux souterraines. En effet, parmi les points d'observation constituant le réseau piézométrique, dix-sept ont été choisis en fonction de leur appartenance aux différentes zones d'alimentation connues pour faire partie du premier réseau de connaissance patrimonial des eaux souterraines, le Réseau de Bassin des Eaux Souterraines (RBES - volet quantitatif) mis en place sous maîtrise d'ouvrage de l'Agence de l'eau Rhin-Meuse. Depuis janvier 2007, la nouvelle appellation est « le Réseau de Contrôle de Surveillance » (RCS).

• Autre objectif : suivi des zones humides

Depuis 2009, l'APRONA compte également parmi ses objectifs le suivi des zones humides de la Plaine d'Alsace.

La Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCE) impose aux états membres d'atteindre le bon état des eaux superficielles et souterraines et des milieux aquatiques en 2015. L'un des outils de mise en œuvre de la DCE est le schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE), dont la révision a été adoptée par le comité de bassin Rhin-Meuse le 27 novembre 2009 pour la période 2010-2015. Une des

orientations du nouveau SDAGE est de renforcer la protection des zones humides et des espèces écologiques remarquables. Elle est également renforcée par deux principes d'actions du SAGE Ill-Nappe-Rhin, concernant les zones humides :

- mettre en place des outils de gestion des zones humides identifiées par la CLE (Commission Locale de l'Eau) ;
- maîtriser l'occupation des sols dans les zones humides.

La DREAL Alsace (qui intègre l'ex - DIREN Alsace) a contribué à la préparation des avant-projets de SDAGE en tant que membre du Secrétariat Technique de Bassin qui assure une mise en cohérence méthodologique des travaux d'élaboration du SDAGE, et s'est attachée à faire prendre en compte les priorités d'actions définies par le SAGE Ill-Nappe-Rhin.

Il a donc été accordé à l'APRONA par l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse et la DREAL Alsace, une subvention spécifique (convention du 05/09/2008) pour l'achat de matériels, afin d'équiper 11 piézomètres dans les secteurs du « Grand Ried » (Nord, Centre et Sud) et de « Illwald ».

Cette convention a pour objet « l'étude et le suivi des zones humides du Ried Centre Alsace » sur 3 années consécutives (2009 à 2011), afin de caractériser le comportement de la nappe pour une meilleure connaissance du fonctionnement hydrodynamique des zones humides et d'analyser leur possibilité d'intégration dans le réseau de surveillance piézométrique géré par l'APRONA.

Parallèlement à ces 11 points suivis automatiquement et en continu par des centrales de mesures, 1 point supplémentaire est relevé hebdomadairement par un observateur local, et 13 autres points sont mesurés trimestriellement par l'APRONA, soit 25 points au total (Annexe 1).

Il est à noter que ce réseau a été déterminé par le BRGM suite à l'inventaire des points d'accès à la nappe dans les zones humides remarquables qu'il a réalisé pour la DIREN ALSACE (Schomburgk S. *et al.*, 2005).

• Autre objectif : suivi des piézomètres du réseau DCE

Parmi les piézomètres que l'APRONA suit figurent dix-sept points du réseau de suivi quantitatif DCE (Illustration 11).

L'arrêté préfectoral n°624 datant du 22 décembre 2006 et relatif aux programmes de surveillance des eaux des districts Rhin-Meuse, établis en application de l'article L. 212-2-2 du code de l'environnement, précise les objectifs du réseau de suivi quantitatif des eaux souterraines dans l'article 4 :

- fournir une estimation de l'état quantitatif de toutes les masses d'eau ou groupes de masses d'eau souterraines ;

- évaluer l'incidence des captages et des rejets dans les masses d'eau souterraine identifiées, en application du 1, 2°, d) de l'article 3 du décret du 16 mai 2005, comme risquant de ne pas satisfaire à l'objectif d'équilibre mentionné au IV de l'article L. 212-1 du code de l'environnement ;
- évaluer l'efficacité du programme de mesures, prescrit par l'article L. 212-2-1 du code de l'environnement, sur ces masses d'eau ;
- pour les masses d'eau dont l'eau traverse la frontière avec un autre Etat, évaluer la direction et le débit à travers la frontière.

Les dix-sept points d'eau DCE sont suivis à une fréquence mensuelle.

a) Outil de gestion du réseau

Une banque de données piézométriques a été réalisée courant 2007 dans le but de faciliter la gestion des données. Ainsi, en 2007, les données de deux-cent fichiers informatiques jusque là stockées dans un format spécifique APRONA (hérité de la DIREN) ont été mises en forme et transférées dans une nouvelle base de données (SQL Server 2005) utilisant un format compatible avec le nouveau SANDRE.

La nouvelle application désormais fonctionnelle, permet de gérer les mesures piézométriques mais également les propriétaires, les observateurs, le matériel installé (type, référence), le matériel de mesure fourni aux observateurs et de générer, *via* un tableur, de nombreux graphiques.

Au courant du premier semestre 2008, les points de mesure dont l'observation a été arrêtée mais qui disposent d'une série de données, couvrant au moins une partie de la période 1986-2002 (Modèle Hydrodynamique MoNit) ont été intégrés dans la banque de données : fiche descriptive, nivellement, mesures. Ces données permettent d'évaluer, pour chaque pas de calcul du modèle MoNit, la précision de la piézométrie simulée.

b) Demandes relatives au réseau piézométriques traitées par l'APRONA

Parmi les tâches quotidiennes de l'APRONA figurent les réponses aux demandes relatives au réseau piézométrique. Ces demandes, qui étaient de 491 en 2007, ont diminué depuis et s'élevaient à 366 en 2009, représentant une baisse de 25 %. En effet, depuis que le site internet de l'association a été amélioré et permet un accès aux données facilité, les demandes ont diminué au profit d'une augmentation de la consultation du site.

Les demandeurs sont divers mais principalement représentés par :

- des particuliers, la plupart du temps ceux-ci souhaitent connaître la profondeur de la nappe chez eux dans le but d'implanter une pompe à chaleur, pour une construction ou seulement par curiosité ;

- des bureaux d'études spécialisés, le plus souvent ils consultent le site internet directement, donc lorsqu'ils s'adressent à l'APRONA c'est en général pour avoir une mesure à une heure précise le jour même dans le cadre de travaux de construction notamment ;
- les observateurs locaux qui sont les personnes qui font des mesures de piézométrie sur le réseau pour l'APRONA ;
- les administrations ;
- des organismes divers.

Les réponses apportées par l'APRONA aux diverses demandes sont faites par courriel, par téléphone, par courrier ou parfois par fax. Dans ses réponses (excepté lors de réponses téléphoniques), l'association envoie un extrait de carte indiquant le point d'eau renseigné, le point du demandeur et la piézométrie (basses eaux, moyennes eaux ou hautes eaux, selon le type de demande). De petites interprétations, telle que l'estimation d'un niveau piézométrique entre deux points d'eau connus, sont parfois faites par l'APRONA. Des précautions relatives aux données fournies sont prises dans les réponses, notamment quant à la distance du point renseigné par rapport au point demandé. Les données fournies dans les réponses sont déjà mises en forme pour les besoins de l'association, excepté dans de rares cas où un traitement particulier supplémentaire est nécessaire.

En termes de localisation, il y a un peu plus de demandes relatives aux zones de bordure qu'ailleurs. Les demandeurs souhaitent savoir s'ils sont sur la nappe d'Alsace ou en dehors.

En période de sécheresse, l'APRONA fournit des données sur la piézométrie de la nappe d'Alsace toutes les semaines aux comités sécheresse (un par département).

Les mesures de piézométrie sont réalisées soit en continu par des stations automatiques, soit à une fréquence hebdomadaire par les observateurs locaux.

Les observateurs locaux sont environ 75 et surveillent environ 130 points du réseau. Ils effectuent des mesures tous les mardis. L'avantage de ce système est l'obtention de mesures instantanées.

Les 57 stations automatiques du réseau correspondent pour la plupart à des points difficilement accessibles (par exemple les zones humides ou la forêt de la Hardt qui nécessite des autorisations). Concernant les points DCE, leurs équipements ont été financés par l'agence de l'eau Rhin-Meuse.

L'évolution à prévoir des demandes faites à l'APRONA est une diminution des sollicitations issues des bureaux d'études, ils consultent de plus en plus le site internet.

L'illustration ci-dessous récapitule les utilisations évoquées dans les sous-chapitres a, b et c.

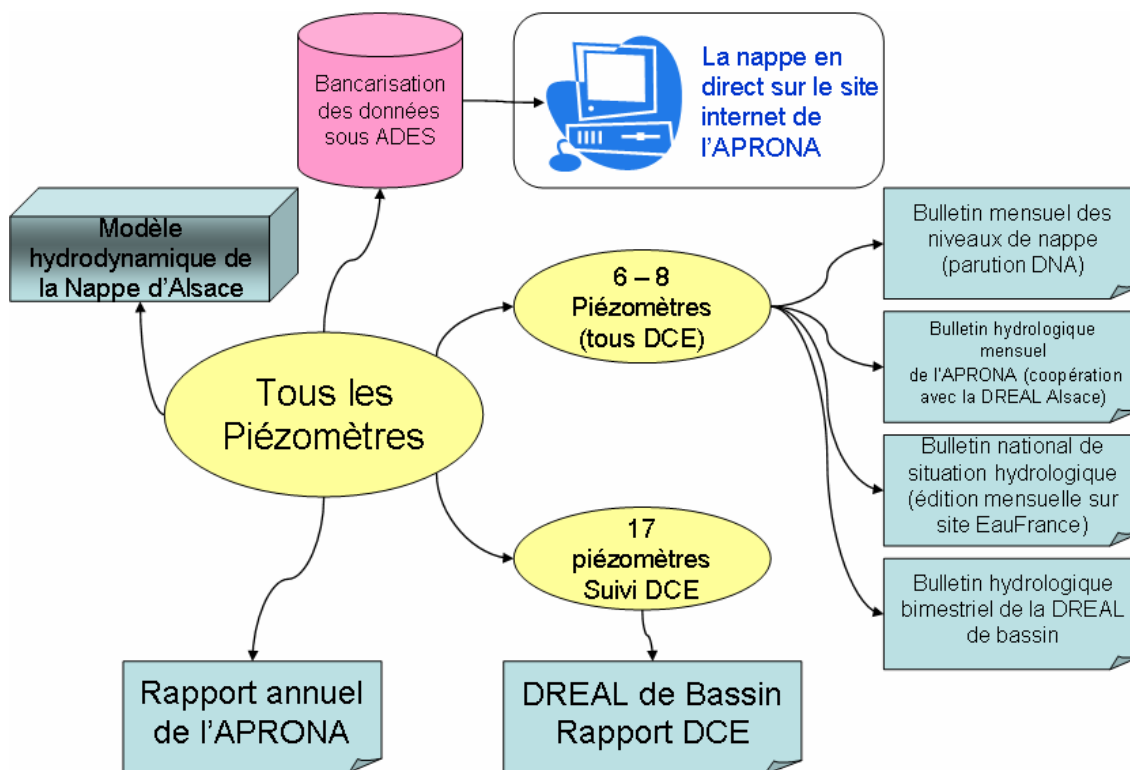


Illustration 4 : les usages actuels du réseau piézométrique.

3.1.2. Découpage de la nappe d'Alsace en zones homogènes

Au-delà de cette synthèse factuelle de l'utilisation du réseau, la réponse au deuxième faisceau d'interrogations passe par une mise à jour du découpage de l'aquifère de la Plaine d'Alsace. En effet, si un premier travail exhaustif a été réalisé dans les années 1970, nombre d'aménagement hydrauliques (barrages sur le Rhin, canaux et prélèvement) sont susceptibles d'avoir modifié la sectorisation en zone homogène. Pour cette mise à jour il faut donc tenir compte de toutes les informations collectées ultérieurement et les étudier.

La confrontation de la configuration actuelle du réseau avec ce nouveau découpage suivra deux critères majeurs d'évaluation :

- s'assurer d'une évaluation fiable et adaptée de l'état quantitatif de la ressource à l'échelle régionale ;

- servir de base pour des études ciblant des enjeux particuliers d'échelle régionale ou locale (par exemple modélisations en zone de piémont pour le suivi des pollutions agricoles).

D'une manière générale, les diverses informations hydrogéologiques et géologiques ont donné lieu à de nombreuses synthèses validées. Il est donc apparu plus judicieux de s'appuyer sur les résultats de ces synthèses, notamment dans leur expression cartographique plutôt que de reprendre les données de bases locales ou ponctuelles.

La cartographie par secteur des années 70 reste une base précieuse pour caractériser les zones homogènes de l'aquifère. Notamment la masse d'information utilisée à l'époque (environ 1300 chroniques piézométriques n'est pas comparable avec les informations postérieures). Toutefois les rapports ne contiennent aucune annexe exhaustives de ces chroniques, ce qui rend la vérification voire le retraitement des informations d'origine avec les données plus récentes impossible. A titre de vérification non exhaustive, quelques tests ont confirmé localement dans le sud de l'Alsace le comportement similaire de piézomètres appartenant à de mêmes secteurs issus du précédent découpage.

Le travail de mise à jour s'est basé sur plusieurs travaux ayant donné lieu à des représentations cartographiques :

1. Analyse statistique ACP de la nappe d'Alsace (cartographie issue de l'analyse statistique sur les chroniques longues des piézomètres du réseau APRONA, Rapport BRGM, 2006)
2. Découpage BD Lisa (cartographie issu de la mise à jour du référentiel hydrogéologique pour la région Alsace, Rapport BRGM RP-58091-FR, 2010)
3. Zones de nappes sub-affleurantes (cartographie de remontée de nappe inférieur à 2 Mètres, cartographie DIREN)
4. Limites hydrographiques (banque de données BD Carthage)
5. Battements (cartographie issue du traitement statistique réalisé par l'APRONA)
6. Lignes isopièzes 1991 en basses eaux de la nappe d'Alsace (Cartographie APRONA)

La carte de zone d'influence auparavant utilisée (voir notamment la note méthodologique APRONA –ARAA, 2002-2003, p.4) qui découpait la nappe d'Alsace en zone d'influence relative du Rhin, de l'Ill et des rivières vosgiennes n'a pas été retenue. Cette cartographie à dire d'expert et inspirée du travail de rationalisation des années 70 n'est appuyée d'aucun document officiel justifiant les choix de limite d'influence.

Une analyse TEMPO des influences des rivières, du Rhin et des précipitations de la nappe d'Alsace a également donné lieu comme pour l'analyse ACP à une cartographie détaillée. Le rapport BRGM RP-53579-FR (2005) expose ces deux méthodes, analyse et compare leur résultats. Les cartographies issues de ces deux analyses convergent

pour décrire les influences majeures (Rhin, rivières et précipitations) en gardant toutefois certaines divergences fondamentales liées aux données utilisées et aux méthodologies employées : la modélisation Tempo est un modèle déterministe forçant une description des influences de la nappe selon trois vecteurs principaux (Rhin, rivières et précipitations) tandis que l'approche statistique ACP décompose les signaux piézométriques observés en une vingtaine de vecteurs d'influence dont cinq prédominent. Les résultats des deux méthodes apportent des informations d'égale validité pour la compréhension du fonctionnement de la nappe, mais proposant des découpages différents. En conséquence, un choix de cartographie est apparu nécessaire afin d'éviter un niveau de complexification supplémentaire au regard des autres aspects thématiques déjà retenus. La méthode ACP a été retenue dans la mesure où elle identifiait des zones d'influence plus complexes que celles issues des apports directs du Rhin, des rivières et des précipitations.

Ces différents découpages thématiques étant retenus comme la base d'élaboration d'une nouvelle sectorisation, le travail a consisté en une superposition des informations.

La cartographie ACP propose l'exploitation la plus récente des données piézométriques. Comme indiqué précédemment, l'approche statistique décompose le signal piézométrique en vingt-cinq vecteurs simples. Cinq vecteurs permettent de décrire l'état de la nappe de manière globale avec des erreurs inférieures à 15%.

Parmi ces cinq vecteurs, les trois premiers vecteurs ont été identifiés comme les influences directes des rivières, des précipitations et du Rhin. A partir de cette interprétation, une quantification des contributions de ces influences a fait l'objet d'une cartographie (Rapport BRGM RP-53326-FR, 2006, p. 60 à 62). En retenant comme limite la contribution minimale de 30% aux signaux piézométriques observés, on obtient ainsi une première trame de fond pour le découpage des zones.

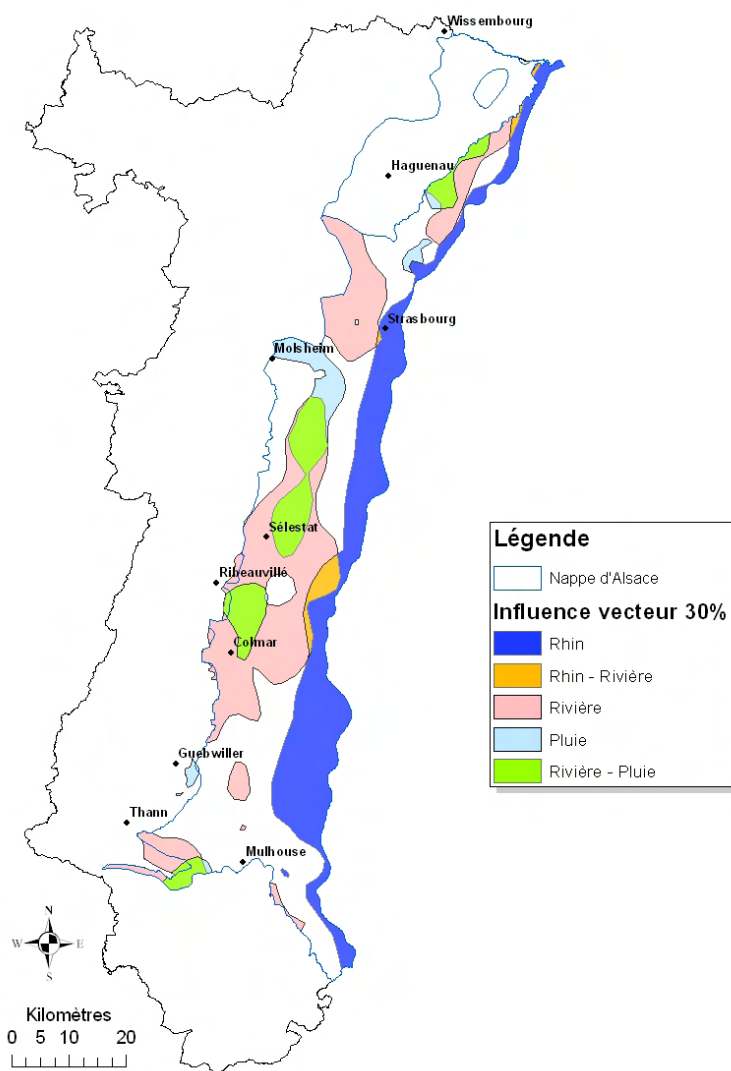


Illustration 5 : contribution des trois vecteurs principaux issus de l'analyse ACP

Les parties résiduelles rassemblent des zones plus complexes, notamment où s'expriment les quatrième et cinquième vecteurs principaux.

Le quatrième vecteur reflète selon le rapport BRGM (BRGM RP-53326-FR, 2006, p.38-40) des effets de « stockage – déstockage » d'eau d'extension réduite mais ne met pas en évidence de structure et reste difficile à interpréter hydrogéologiquement. Il n'a donc pas été retenu comme éléments de découpage.

Le cinquième vecteur d'influence identifie, lui, clairement des zones de bordure de la nappe d'Alsace hydrogéologiquement complexes (BRGM RP-53326-FR, 2006, p.40-

41). Il a donc été retenu pour délimiter certains secteurs. Les zones délimitées par ce vecteur s'ajoutent à celles déjà délimitées par les trois premiers vecteurs.

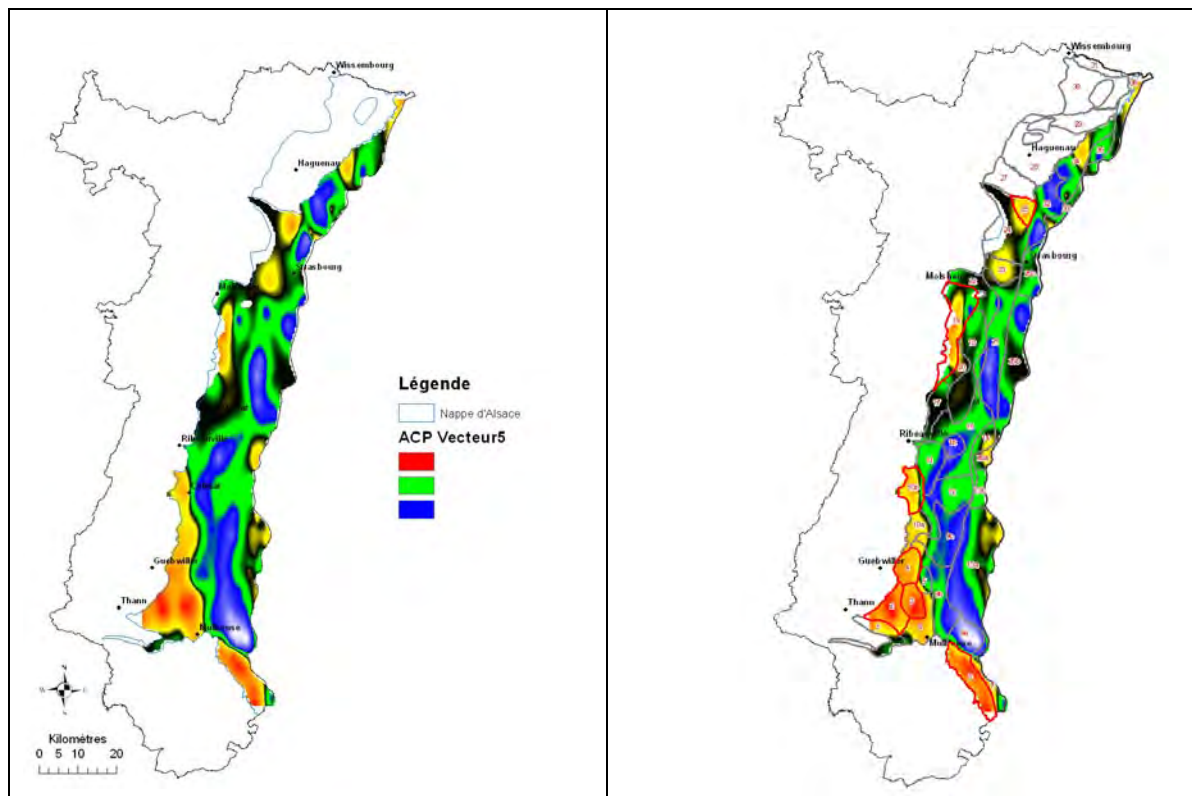


Illustration 6 : carte krigée des projections de chaque piézomètre sur le cinquième vecteur propre et secteurs délimités par ce vecteur

Les plages rouges décrivent une valeur positive du vecteur caractérisant un signal estival positif qui, selon le rapport BRGM, « ne permet pas de déterminer avec précision des structures; mais permet de mettre en évidence de grands ensembles »:

- Piémont oriental du Sundgau ;
- Piémont vosgien ;
- Cône de la Zorn.

Les zones ainsi délimitées (figure de droite, polygones délimités par un trait rouge) correspondent à des secteurs caractérisés par des apports latéraux particuliers (flux de bordure). Cet aspect n'entre pas directement dans une analyse basée uniquement sur un découpage Rhin – Rivière – Précipitations.

Sur la base de ce premier découpage sont ensuite superposés les autres éléments thématiques retenus pour la délimitation. Selon les zones géographiques, ils ont été utilisés pour compléter, voire dans certains cas, pour affiner le puzzle en partie mis en place par les éléments issus de l'analyse statistique ACP.

Le découpage BD Lisa intervient pour la délimitation de certaines zones de piémont des Vosges ainsi que pour les formations plio-quaternaires du Nord de l'Alsace (illustration 7).

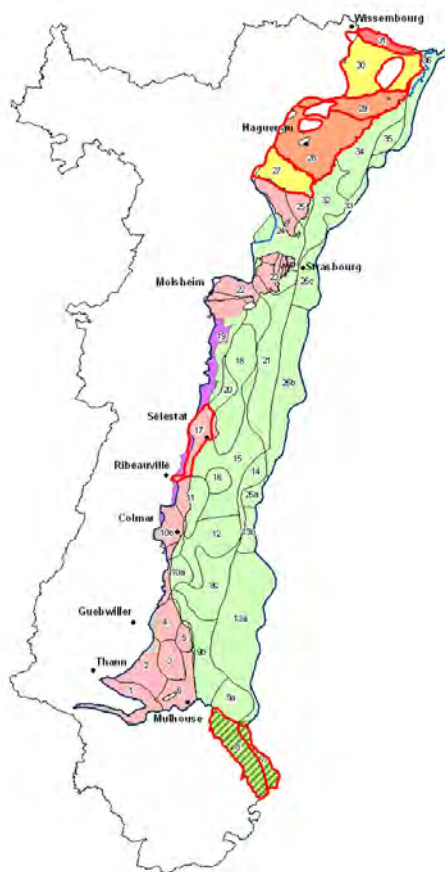


Illustration 7 : secteurs délimités à l'aide du découpage BD LISA (entités hydrogéologiques)

La cartographie des zones de nappe sub-affleurante impose une limitation au Sud de Colmar qui caractérise dans la plaine le passage d'une zone d'infiltration des cours d'eau au sud à une zone d'apparition des cours d'eau phréatiques au nord. Une zone humide particulière liée à la rivière de la Sauer est également identifiée à l'aide de cette cartographie. Toutefois il a été décidé de suivre les limites hydrographiques du bassin versant de la Sauer tracées par la cartographie des bassins versants superficiels pour dessiner cette zone. L'illustration 8 récapitule les découpages effectués.



Illustration 8 : secteurs délimités à l'aide du découpage des zones de nappes sub-affleurantes et les limites superficielles de bassins versants

A ce stade, le découpage couvre la quasi-totalité de l'aire d'étude. Les quelques zones au centre de la Plaine d'Alsace subsistent par défaut et constituent ainsi des zones non caractérisables par un seul élément thématique retenu au départ. Ces zones ont été conservées comme telles.

Toutefois il est apparu nécessaire de procéder à un morcellement des certains grands secteurs, notamment ceux liés à l'influence du Rhin en fonction de deux aspects significatifs :

- Les valeurs moyennes de battements ;
- Les sens d'écoulement.

La cartographie des valeurs moyennes de battement calculées à partir des chroniques historiques des piézomètres redécoupe en unités plus discrètes les entités déjà existantes. Notamment la présence d'ouvrages hydrauliques le long du Rhin impose un effet régulateur local. La zone d'influence du Rhin a été ainsi segmentée en une

succession de zone de battements significativement différents. La même logique a été appliquée pour d'autre zone du sud de l'Alsace où les valeurs moyennes peuvent varier de quelques mètres sur des distances kilométriques (voir illustration 9).

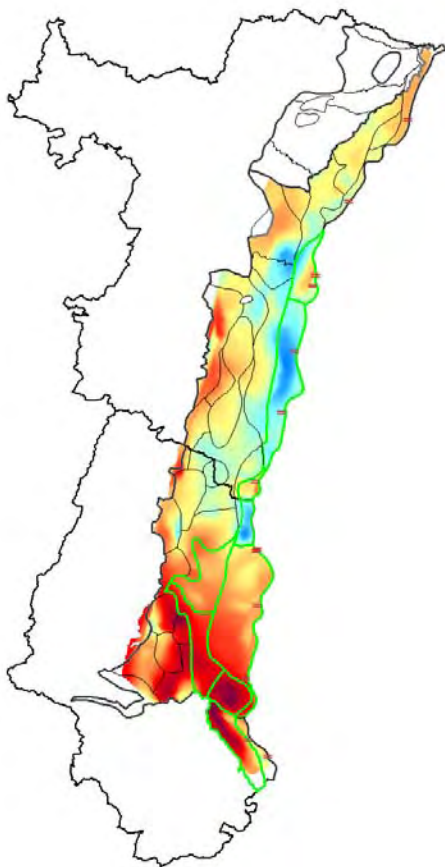


Illustration 9 : secteurs redécoupés à l'aide de la cartographie moyenne des battements (source APRONA)

La carte des isopièzes basses-eaux (1991, source APRONA) découpe une seule zone de bordure pour laquelle une divergence d'écoulement significative est observée (voir illustration 10).



Illustration 10 : secteur redécoupé à l'aide de la carte des isopièzes basses-eaux (1991, source APRONA)

Enfin la comparaison avec la sectorisation issue du premier travail de sectorisation (1974 – 77) a confirmé certains découpages (voir illustration 11).

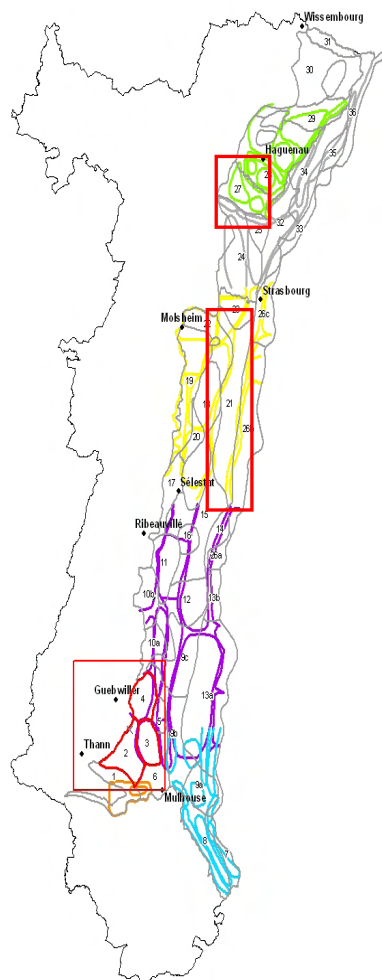


Illustration 11 : corrélation entre certaines zones découpées et la sectorisation issue du travail d'optimisation réalisé entre 1974 et 1977

La justification des limites de chaque zone est consignée dans le tableau en annexe 7.

L'illustration 12 présente le résultat de cette superposition de paramètres.

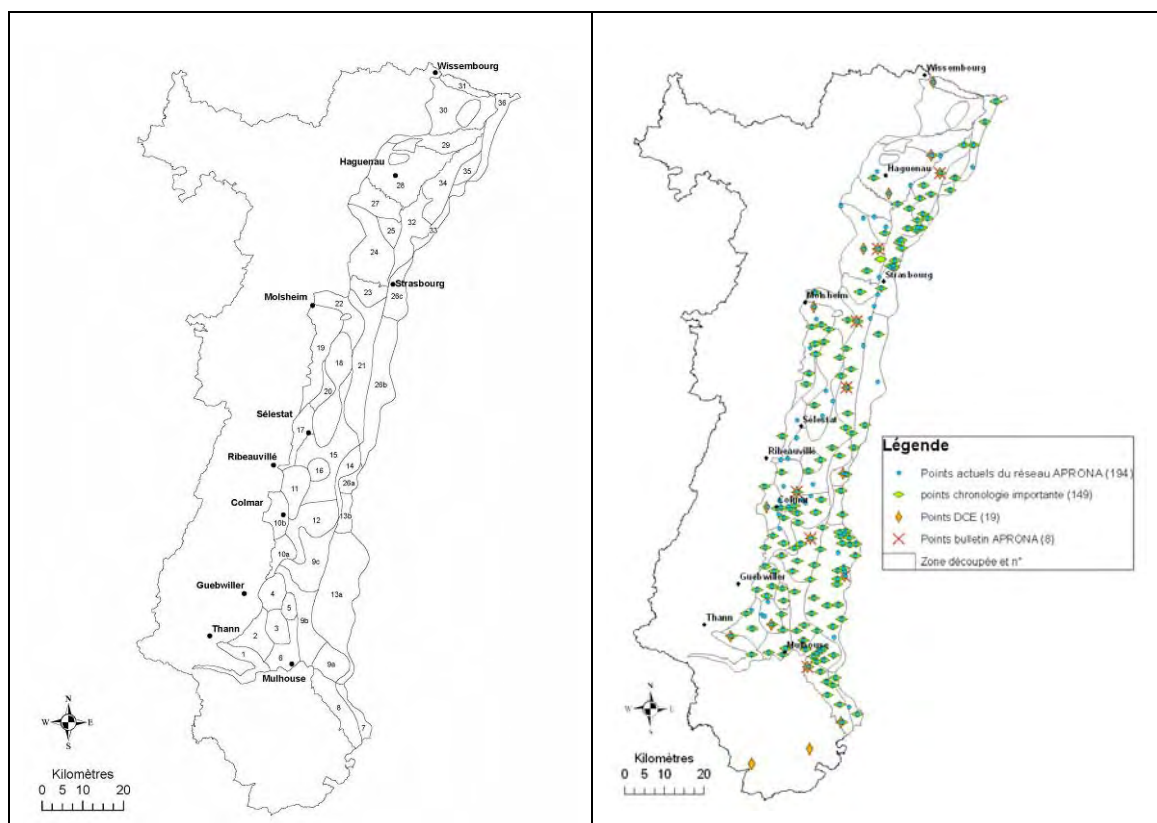


Illustration 12 : découpage de la nappe d'Alsace en zones homogènes et réseau actuel

Les zones homogènes issues de ce découpage sont représentées par un nombre variable de points. En résumé, 194 points de surveillance sont répartis entre 42 zones. La superficie totale de l'aire étudiée étant de 3194 km², un point de mesure représente en moyenne 16,46 km² ce qui équivaut à une densité de 0,6 points au km². Toutefois cette représentativité varie significativement selon les zones issues de ce nouveau découpage.

3.1.3. Estimation d'une valeur de complexité pour chaque zone

D'une manière générale se pose alors la question du nombre de points nécessaires pour représenter chaque zone. Toutes les zones demandent-elles une même densité pour une qualité de suivi égale ou bien existe-t-il des différences ?

Certaines parties de la nappe d'Alsace comme le Centre Plaine se caractérisent par un faible battement et un faible gradient hydraulique. Dans ce cas peu de variations simultanées s'observent d'amont en aval entre des mesures effectuées sur des piézomètres relativement éloignées et les variations temporelles sont faibles. A l'inverse, les zones de bordure ou bien la partie Sud de l'aquifère se caractérisent par des gradients hydrauliques forts et/ou des valeurs relativement élevées de battement. Ces zones demandent un maillage plus serré de points de mesure pour rendre compte des variations latérales et temporelles de l'état quantitatif de la zone. Pour un niveau

de qualité de précision égale pour toutes les zones, il faut donc pouvoir moduler la représentativité associée à chaque zone.

Pour simplifier l'analyse, deux éléments d'appréciation de la complexité de chaque zone, le battement d'une part et le gradient hydraulique d'autre part ont été associés chacun à une échelle de valeur pour l'ensemble de l'aire d'étude :

Critères	Estimation relative des critères selon les valeurs observées pour les zones de l'aire d'étude			
	Très faible	Faible	Fort	Très fort
	1	2	3	4
Battement moyen (en m)	0,49 – 2,09	2,10 – 3,35	3,36 - 6,30	6,31 – 9,24
Gradient hydraulique (sans unité)	0,49 – 1,30	1,31 – 2,10	2,11 – 4,44	4,45 – 6,78

Les classes sont définies par un découpage à partir de la valeur moyenne de chaque critère. Cette valeur moyenne constituant la limite entre les estimations « faible » à « fort ».

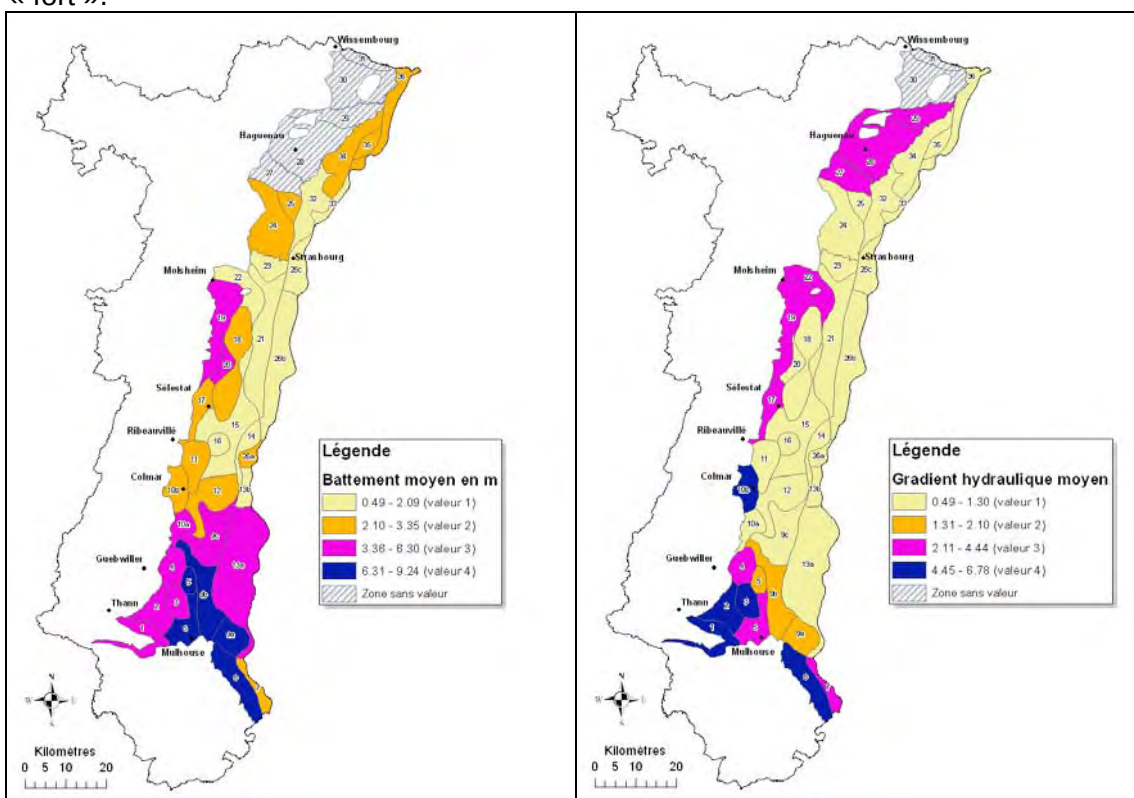


Illustration 13 : estimation des valeurs de battement moyen et de gradient hydraulique moyen pour chaque zone.

En ajoutant, pour chaque zone, la valeur assignée pour le battement moyen à celle assignée au gradient hydraulique, on obtient une estimation relative de la complexité globale de la zone. Les résultats s'échelonnent donc de 2 (Critère battement moyen = 1 + critère de gradient hydraulique = 1) à 8 (Critère battement moyen = 4 + critère de gradient hydraulique = 4).

Les zones couvrant les formations plio-quaternaire au nord-ouest de l'aire d'étude sont insuffisamment suivies pour calculer soit le battement moyen soit le gradient hydraulique. Leur niveau de complexité reste donc insuffisamment connu par rapport aux autres zones.

L'estimation de la complexité de chaque zone est ainsi décrite dans l'illustration ci-dessous.

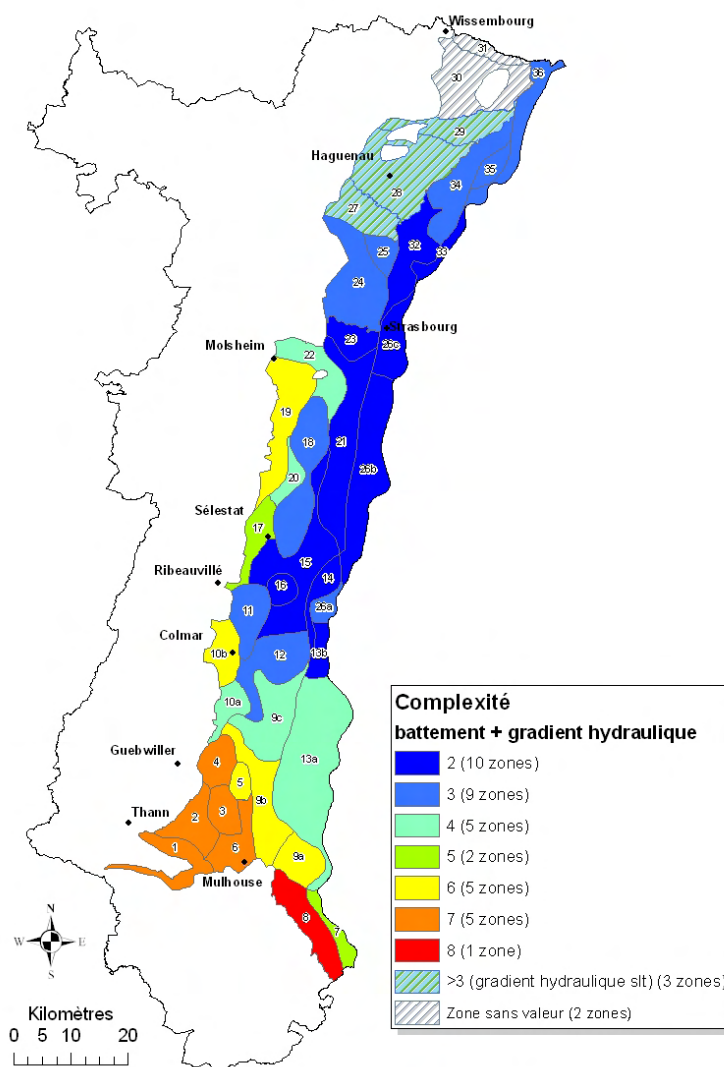


Illustration 14 : représentation de la complexité des zones par la combinaison des critères « battement moyen » et « gradient hydraulique ».

3.1.4. Test de scénarios d'optimisation

Sur cette base d'estimation de la complexité, plusieurs alternatives de répartition de points de mesures ont été testées. Les trois premières alternatives (scénarios 1, 2 et 3) en concertation avec l'AERM et la Région Alsace. Le scénario 4 a été rajouté par le BRGM dans la mesure où les chroniques piézométriques longues peuvent constituer dans leur ensemble une source précieuse pour estimer des évolutions à long terme.

1. Un point de mesure par zone, soit 42 piézomètres (Scénario 1)
2. 100 points de mesure en retenant préférentiellement les piézomètres disposant de longue chronique (scénario 2)
3. 150 points de mesure en retenant préférentiellement les piézomètres disposant de longue chronique (scénarios 3)
4. Tous les piézomètres disposant des chroniques historiques longues sont retenus (149 points). Le réseau est complété par d'autres piézomètres existants ou à créer afin de pouvoir représenter toutes les zones en tenant compte de la caractéristique locale de complexité. Cette dernière alternative totalise 169 points de mesure (scénario 4).

La répartition des points de mesure pour chacune de ces options est présentée par les cartes en annexe 3.

Ces alternatives ont été soumises à discussion au cours du comité de pilotage du 28 septembre 2010 qui clôturait la tâche 3 du projet.

Les variantes 1 et 2 représentent des options basses qui n'ont pas été retenues. Les options 3 et 4 ont été jugées comme des possibilités d'optimisation du réseau actuel. L'importance de chroniques piézométriques longues pour tous les traitements statistiques rend la conservation des 149 piézomètres concernés *a priori* primordiale. Toutefois une possibilité d'optimisation subsiste pour certains d'entre eux : les informations apportées par plusieurs piézomètres historiques situés à quelques kilomètres de distance et dans une zone bien représentée sont redondantes. Il s'agit de points de mesure proches produisant des observations similaires.

Aussi, il a été décidé d'élaborer une variante intermédiaire. L'identification d'information redondante à partir de l'option 4 retenant sans discrimination tous les 149 piézomètres à longue chronique permettra de réduire leur nombre et d'aboutir à un résultat intermédiaire entre la troisième (150 points) et quatrième option (169 points). Toutefois avant présenter cette dernière variante, d'autres élément structurant restent à aborder.

La détermination des fréquences des mesures à réaliser accompagne le choix de la répartition des points pour définir le réseau optimisé : la représentativité temporelle doit compléter la représentativité géographique.

Parmi l'ensemble des points mesurés actuellement, 59 sont équipés de stations automatiques qui permettent des mesures horaires. Les piézomètres restants font l'objet de mesures hebdomadaires ou mensuelles. L'équipement de stations automatiques apparaît nécessaire lorsque les points d'observations sont difficilement

accessibles, De ce fait, les mesures sont automatiquement de fréquence horaire. Pour d'autres points plus facilement accessibles se pose la nécessité d'une fréquence similaire. Autrement dit, le réseau piézométrique dans son ensemble nécessite-t-il un suivi quotidien pour tous les points, ou bien se satisfait-il d'une majorité de mesures hebdomadaires, voire mensuelles?

De même, en reliant la densité de points d'une zone à sa complexité, le réseau constitue un appui structurant à toute modélisation hydrodynamique.

Toutefois, une caractérisation plus poussée du réseau en tenant compte des fréquences de mesure demande maintenant de cerner plus précisément les enjeux particuliers d'un tel réseau.

3.2. LES ENJEUX DU RESEAU

L'utilisation d'un réseau piézométrique peut répondre à de multiples usages. Certains ont déjà été évoqués explicitement, comme la vocation d'estimer l'état patrimonial de la nappe ou encore la nécessité de disposer d'une structure d'appui à des modélisations hydrodynamiques régionales ou locales. Le présent chapitre énumère tous les enjeux majeurs potentiels en Plaine d'Alsace.

Certains enjeux sont en partie intégrés dans l'approche méthodologique déployée (voir chapitre 3.1). D'autres constituent des aspects qui peuvent se superposer aux résultats du découpage effectué.

3.2.1. Estimation quantitative patrimoniale

L'approche méthodologique s'est basée sur un découpage de zones homogènes qui constitue autant de petites régions hydrogéologiques. A ce découpage s'est ajoutée une analyse qualitative de la complexité des zones. En effet, la complexité d'une zone (évaluation basée sur le battement moyen et le gradient hydraulique moyen) nécessite un nombre plus ou moins grand de points capable de la représenter.

Il en découle des propositions de répartitions optimales de points de mesures selon le nombre total de points retenus. A l'échelle régionale comme locale, l'estimation quantitative de l'état de la nappe est ainsi optimisée.

La fréquence nécessaire pour obtenir les résultats exploitables mensuellement ou annuellement est d'ordre hebdomadaire.

3.2.2. Modélisation hydrodynamique

La modélisation hydrodynamique appliquée à l'aquifère Rhénan vise des objectifs quantitatifs (estimation quantitative de la ressources) et qualitatifs (impact et transferts de polluants dans l'aquifère).

L'aquifère Rhénan fait l'objet depuis le projet INTERREG MONIT - qui s'est achevé l'année 2006 - d'une modélisation hydrodynamique. Le projet INTERREG LOGAR en

cours y apporte des améliorations dans la description hydrogéologique ainsi que dans le calage. Les travaux actuels concernent l'estimation quantitative, mais surtout l'estimation de l'impact de certains polluants. L'échelle de cette modélisation est régionale et transfrontalière.

Selon les experts du bureau d'études Kupp und Partner chargés du calage du modèle hydrodynamique, le nombre minimum requis du côté français de l'aquifère Rhénan est de 80 points. Au dessus de cette limite, le bureau d'étude propose des alternatives de 100 et 120 points. Une quantification chiffrée de l'erreur associée à chaque nombre de points total retenu (80, 100 ou 120) n'a pu être fournie. Toutefois, selon les experts modélisateurs, un nombre plus important de points que le minimum requis permet d'assurer une base de données nécessaire au développement de modélisations locales. La problématique de la pollution aux nitrates le long du piémont vosgien peut ainsi faire l'objet de telles modélisations. C'est pourquoi la répartition des 120 points proposés en référence par Kupp und Partner a été incluse dans la proposition définitive. La majorité des points à vocation de référence pour la modélisation correspondent à ceux qui avaient déjà été retenus dans le scénario 4 (169 points répartis).

Il faut toutefois souligner que les points retenus pour ce modèle hydrodynamique d'échelle régionale ne couvrent pas les zones du Nord-Ouest de la Plaine où les formations plio-quaternaires d'Haguenau – Riedseltz constituent un aquifère complexe en relation avec l'aquifère Rhénan proprement dit.

La fréquence de mesure requise pour cette exploitation est hebdomadaire. Avec cependant pour des zones montrant une forte dynamique (par exemple le long de rivière ou bien de certains tronçons du Rhin) une fréquence journalière.

3.2.3. Analyse statistique

L'analyse statistique ACP (Analyse en Composante Principale) a fourni la trame de fond du découpage réalisé. Pour cela, ce travail a bénéficié de l'exceptionnelle richesse d'informations issues d'un réseau piézométrique dense et doté de longues chroniques. Au-delà de cette utilisation pour le découpage réalisé, reproduire ce même type d'analyse à l'avenir constitue en enjeu en soi. Ceci pour deux raisons :

1. Entre la première rationalisation des années 1970 et aujourd'hui, les aménagements humains comme les pompages d'eau souterraine (AEP, agricoles ou industriel) ou bien les aménagements hydrauliques (barrages, canaux, etc..) ont conduit à modifier le comportement hydrogéologique de l'aquifère. Ceci s'est traduit par des cartes de zones homogènes ou d'influence différentes. L'impact anthropique est une action continue qui amène donc à réviser régulièrement l'adéquation du réseau mis en place. Ceci même si l'on peut estimer que les transformations majeures impactant l'aquifère Rhénan ont déjà eu lieu.
2. A l'impact anthropique direct se rajoute la problématique du changement climatique. Ici, l'étude statistique des longues chroniques en nombre suffisant peut permettre d'appréhender les impacts sur l'aquifère. Là aussi une mise à

jour régulière de l'analyse réalisée est nécessaire, ne serait-ce que pour vérifier à période régulière l'adéquation du réseau mis en place.

Selon Laurent Longuevergues, statisticien auteur de l'analyse ACP, 150 piézomètres permettent d'identifier les 5 composantes majeures qui décrivent le comportement piézométrique global de la nappe d'Alsace.

Comme pour la modélisation hydrodynamique, il est à souligner que ce chiffre de 150 points ne comprend pas la partie Nord – Ouest de la Plaine occupée par les formations plio quaternaires. Dans la mesure où ces formations aquifères participent également à la dynamique de l'aquifère Rhénan, il est important de prévoir une couverture plus représentative en points de mesure que celle existant actuellement pour cette zone.

La fréquence de mesures requise pour cette exploitation statistique est hebdomadaire excepté pour l'étude des processus plus rapides (échanges nappe-rivières, suivi de pompage, etc. ...) pour laquelle une fréquence journalière est nécessaire.

3.2.4. Directive cadre Européenne sur l'eau

L'application de la Directive cadre sur l'eau (DCE) prévoit la surveillance quantitative des masses d'eau souterraine. L'arrêté préfectoral n°624 du 22 décembre 2006 (Réseau de suivi quantitatif des eaux souterraines du district Rhin) énumère les 17 piézomètres qui assurent le suivi quantitatif de l'aquifère de la Plaine d'Alsace (masse d'eau N° 2000).

La densité minimale requise par la Directive cadre sur l'eau pour le suivi d'une masse d'eau souterraine alluvionnaire est un minimum d'un point de surveillance pour 500 km². La superficie totale de la **nappe de la Plaine d'Alsace** étant de 3194 km². Le nombre minimum de points de surveillance est donc de 7 points. Le suivi de 17 points provenant à l'origine du Réseau de Bassin des Eaux Souterraines (RBES) répond donc largement à cette contrainte. La fréquence de mesure minimale requise est hebdomadaire. Elle correspond au suivi d'un aquifère alluvionnaire soumis à une pression anthropique.

Toutefois, d'autres préoccupations se greffent sur l'objectif DCE d'une estimation générale de l'état quantitatif des masses d'eau. Notamment, un suivi particulier est demandé lorsque ces masses d'eau contribuent à l'existence de zones humides à caractère remarquable. À ce titre, la Plaine d'Alsace est riche en zones humides naturelles dont l'existence est liée à la faible profondeur de la nappe (voir illustration 8). L'annexe 1 montre le réseau de surveillance pilote constitué de 25 piézomètres qui ont été sélectionnés à partir des études BRGM. De ce suivi expérimental devra aboutir la sélection de piézomètres de référence répondant ainsi à cette contrainte. Dans l'état actuel on dénombre cependant déjà 49 points situés dans des zones où la nappe se situe à faible profondeur (Zone non saturée inférieure à 2 mètres) dont 15 situés dans des zones humides remarquables (documents de travail communiqué par la DREAL Alsace).

3.2.5. Zones de bordure du Piémont vosgien

Les zones de bordure du massif vosgien sont hydrogéologiquement complexes (présence de nappes perchées, débouché des aquifères alluvionnaires liés aux rivières vosgiennes) et font l'objet d'exploitations viticoles importantes. L'impact des exploitations agricoles sur une faible tranche aquifère engendre des pollutions en nitrates et en phytosanitaires persistantes dans des zones également exploitées pour la production d'eau potable. Au-delà d'un simple suivi piézométrique quantitatif, il apparaît nécessaire de posséder d'une densité des points de mesures suffisantes afin de pouvoir développer des modèles hydrodynamiques locaux. Ceux-ci doivent permettre de modéliser les transferts de polluants dans ces zones de bordure.

3.2.6. Agglomérations urbaines

Les agglomérations urbaines sont des acteurs majeurs du développement économique régional. Elles concentrent des activités qui nécessitent des informations sur plusieurs caractéristiques hydrogéologiques de la nappe :

- la présence de niveaux peu profonds peut contraindre la construction de structures souterraines (parking, caves, etc.) ;
- la remontée de nappe à la surface du sol ou encore son association avec des crues de cours d'eau peut engendrer des inondations exceptionnelles. L'étude statistique des chroniques piézométriques apporte ici une information clé avec l'évaluation des fréquences de retour d'évènement exceptionnel ;
- la présence de zones industrielles comportant des installations classées peut demander au-delà d'un simple suivi qualitatif sur quelques points de mesure, une cartographie de panache de pollution ou bien encore la réalisation d'un modèle de simulation hydrodynamique. Ces besoins sont également valables pour le suivi de pollutions historiques liées à des friches industrielles ;
- le développement des systèmes d'exploitation géothermique sur aquifère (système eau-eau de très basse température) demande une connaissance à minima de la profondeur de la nappe. Dans une agglomération où la densité des installations est plus forte qu'en milieu rural s'ajoute la problématique de leur impact qui peut nécessiter une modélisation hydrodynamique locale.

Les agglomérations ont donc des besoins qui se greffent sur le réseau piézométrique géré par l'APRONA. La Communauté de Strasbourg a ainsi complété ce suivi piézométrique par son propre réseau. D'une manière générale, une association plus étroite de ces acteurs dans le suivi et la conception d'un réseau se déclinant à plusieurs échelles d'utilisation pourrait être envisagée.

3.2.7. Mises à disposition directe des données

Enfin, il est à rappeler que l'APRONA répond en direct ou par l'intermédiaire de l'application disponible sur leur site internet à toutes les demandes de particuliers ou

d'entreprises concernant les niveaux piézométriques (voir 3.1.1, point b : *Demandes relatives au réseau piézométriques traitées par l'APRONA*).

3.3. OPTIMISATION DU RESEAU: SCENARIO FINAL

La proposition du réseau s'insère entre les variantes composées de 169 et 150 points. Suite aux indications de l'APRONA, les redondances occasionnées par la présence de piézomètres de comportement similaire ont été éliminées. Ainsi sur 149 piézomètres disposant de chroniques longues, 27 ne sont plus retenus car ils doublent une information similaire provenant d'autres piézomètres implantés à proximité.

Toutefois, cette diminution est contrebalancée par un ajout de piézomètres motivé par deux contraintes :

- le réseau assurant la réalisation de modèles hydrodynamiques à l'échelle régionale et locale comprend 120 points de mesures de références. Cette condition a eu pour conséquence de maintenir un nombre plus élevé de points de surveillance que prévu dans deux zones de centre plaines estimées comme « peu complexe » ;
- l'APRONA a indiqué, parallèlement à la liste des piézomètres en doublon à supprimer, un certain nombre de points méritant d'être conservés (mises en place récentes, très bon état, chroniques piézométriques longues reconstituées). Il a été également pris en compte la proposition de l'APRONA de retenir *a priori* deux piézomètres de suivi issus du projet pilote de la zone humide de l'Illwald et du Ried (annexe 1). La plupart des points proposés ont été retenus.

Le réseau qui résulte de la prise en compte de tous ces aspects totalise ainsi **168 points de mesures**.

En complément de cette répartition spatiale, l'analyse des enjeux, du moins ceux qui sont intégrés dans l'approche méthodologique, implique le choix minimum d'une fréquence hebdomadaire de mesure pour tous les points. Toutefois la présence de piézomètres équipés de station automatique de mesure permet d'obtenir des mesures journalières qui constituent un supplément d'information non négligeable.

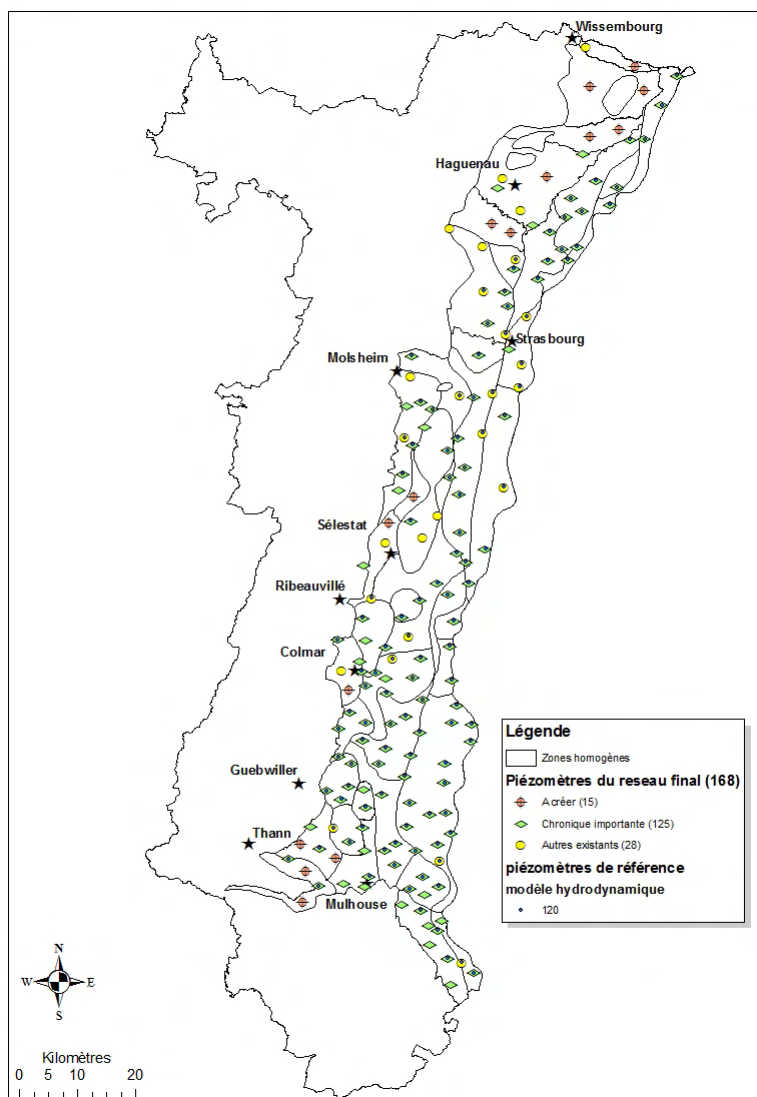


Illustration 15 : scénario final, Cartographie de la répartition des points de mesure

3.4. POINTS DE MESURE DE REFERENCE : PROPOSITION DE MODIFICATION

Au-delà de l'objectif d'optimisation du réseau dans son ensemble, il est également possible d'examiner si les piézomètres de référence utilisés pour la constitution de bulletin mensuels ou annuels (6 ou 8 selon les cas) ou bien encore les 17 piézomètres (incluant les 6 à 8 précités) qui servent au suivi DCE de la nappe sont adéquats dans leur nombre et leur positionnement.

Leur choix a été réalisé à dire d'expert dans le cadre de la constitution du Réseau patrimonial de surveillance quantitative des eaux des aquifères du bassin Rhin-Meuse. Cependant aucune note explicite les raisons de ce choix.

A *posteriori*, la répartition de ces points sur l'ensemble de la nappe est apparemment cohérente, les points permettant de couvrir les différentes situations hydrogéologiques caractérisant le comportement de l'aquifère.

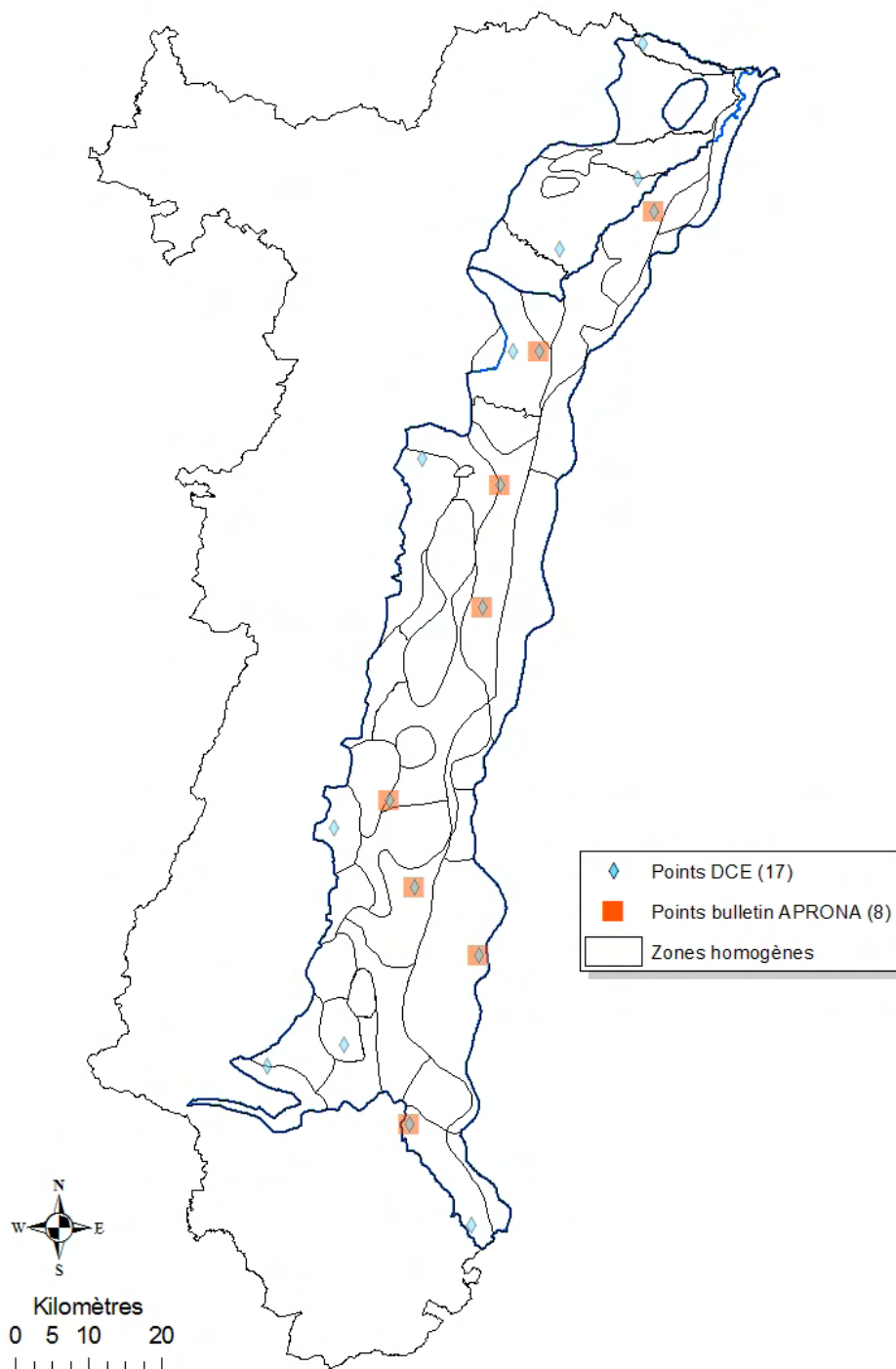


Illustration 16 : répartitions des piézomètres de référence actuellement utilisés.

Toutefois l'analyse statistique ACP fournit des éléments quantifiables qui décrivent les influences sur l'aquifère Rhénan (voir chapitre 3.1). 25 grandeurs mathématiques décomposent ainsi l'ensemble des signaux piézométriques issus des 149 points de mesures disposant de longues chroniques. Sur ces 25 paramètres, cinq dominent car ils permettent de reconstituer la majeure partie des variations piézométriques observées. Chacun des 149 piézomètres sont ainsi décrits en termes de vecteurs propres donc cinq prédominent.

Sur cette base, Il est donc possible de sélectionner parmi ces piézomètres ceux qui subissent l'influence majeure d'un paramètre en particulier. L'étude BRGM distingue parmi ces cinq paramètres trois influences majeures :

- l'apport en eau des rivières (premier signal caractéristique VP1) ;
- l'apport de la pluviométrie ; réaction immédiate (deuxième signal caractéristique VP2) ;
- l'apport du Rhin (troisième signal caractéristique VP3).

Les quatrième et cinquième signaux ne sont pas identifiés clairement en termes d'hydrogéologie. Toutefois la valeur positive du cinquième signal a été retenue dans la méthodologie de découpage dans la mesure où les zones de forte valeur correspondaient aux zones de bordure complexes du Sundgau et des Vosges.

Dix piézomètres caractéristiques ont ainsi été retenus, cinq pour chaque département :

Département	N° BSS	Commune	Lieu dit	Vecteur visé	Pourcentage de représentation du vecteur parmi les 5 vecteurs
Haut-Rhin	04132X0086	WITTENHEIM	HUEB	VP5	26%
	03787X0088	OBERHERGHEIM	OBERE HART	VP4	18%
	03422X0029	OSTHEIM	RUE BRULING	VP2	36%
	04134X0133	CHALAMPE	VILLAGE (PRES D52)	VP3	38%
	03782X0080	COLMAR	LD WOLFLOCH	VP1	52%
Bas-Rhin	02718X0040	NIEDERNAI	OBERMATT	VP5	18%
	02347X0025	HOERDT	OBERHOFFEN (SANDWEG)	VP4	20%
	02725X0049	GEISPOLSHEIM	LA CHAPELLE D'HATTISHEIM	VP2	31%
	02726X0008	PLOBSHEIM	ERDBEERRAIN (HANAU)	VP3	37%
	01995X0012	SESSENHEIM	GRAEBELACKER (ROUNTZENHEIMERLACH)	VP1	55%

Illustration 17 : tableau récapitulatif des piézomètres de référence proposés.

En complément de la capacité à représenter la valeur de chaque vecteur propre, une répartition spatiale de ces piézomètres a été un deuxième critère de sélection. Ceux-ci se répartissent sur l'ensemble de la Plaine d'Alsace comme le montre l'illustration ci-dessous :

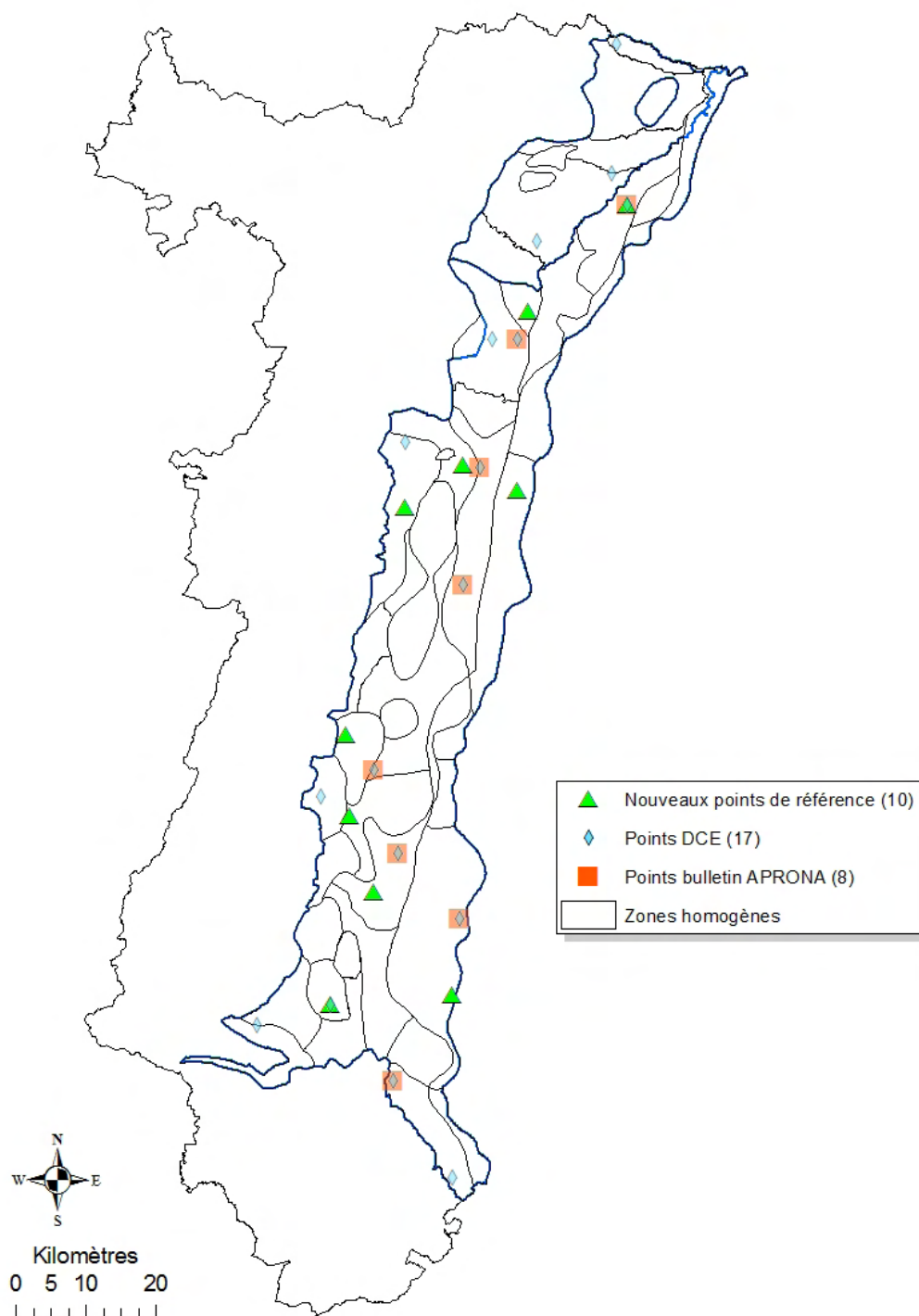


Illustration 18 : positionnement des 10 nouveaux piézomètres de référence proposés

Le piézomètre de Sessenheim dans le Bas-Rhin et celui de Wittenheim dans le Haut-Rhin sont communs entre cette proposition et le réseau de piézomètres de référence actuellement utilisé.

Cette sélection constituerait un cadre de référence unique et commun pour la réalisation des bulletins mensuels locaux et nationaux et pour la fourniture de données dans le cadre de la DCE.

Il existe, pour chaque piézomètre, une équation issue de l'étude statistique qui relie la variation de piézométrie aux vecteurs d'influences. La combinaison des équations des 10 piézomètres retenus doit permettre ainsi d'identifier la valeur temporelle de l'influence de chaque vecteur. On peut ainsi théoriquement reconstituer un niveau piézométrique pour chacun des 149 piézomètres issus de l'étude statistique et ainsi extrapoler une surface piézométrique de la nappe d'Alsace. Ce test n'a cependant pas été effectué dans le cadre de ce travail.

4. Conclusion générale

L'optimisation du réseau de suivi quantitatif de la Nappe d'Alsace géré par l'APRONA relève à la fois de la chronique historique (comment s'est-il constitué ? quels sont les phases qui ont marquées son évolution ?) et de l'audit (quels sont les usages et les enjeux actuels, le réseau y répond-il efficacement?).

Historiquement, le réseau part de l'agrégation de plusieurs sous-réseaux qui aboutira à une première phase d'optimisation au cours des années 1970. Ce travail d'optimisation a consisté en une analyse détaillée des signaux piézométriques en fonction des connaissances hydrogéologique afin de dégager des secteurs de comportement homogène. Les résultats obtenus ont ramené le suivi de plus d'un millier de points à moins de deux cents points. C'est sur cette base que le réseau a évolué jusqu'à aujourd'hui en maintenant cet ordre de grandeur de représentativité.

Entre ce premier travail d'optimisation et aujourd'hui, les aménagements hydrauliques réalisés (canaux, barrage, installations de pompage) ont modifié l'impact anthropique sur l'aquifère et donc son comportement. Parallèlement l'acquisition de nouvelles informations et leur interprétation ont permis d'affiner la connaissance hydrogéologique de l'aquifère. A partir des ces deux constats, le travail d'optimisation a suivi deux objectifs :

1. A quels usages répond ou devra répondre le réseau de surveillance ?
2. Comment peut se découper la nappe d'Alsace en zones de comportement hydrogéologique distinct ?

La collecte des données piézométriques sert à la constitution de bulletin quantitatif mensuel et annuel. C'est l'aspect le plus simple et le plus factuel. Au-delà, se greffent plusieurs souhaits ou contraintes qui rendent délicate une optimisation associée le plus souvent à une réduction de points de mesure. Deux objectifs majeurs se distinguent : d'un côté connaître et suivre l'état quantitatif de la nappe à une échelle globale comme à celle de petites régions, de l'autre pouvoir développer grâce à ce réseau des modélisations hydrodynamiques.

Le travail d'optimisation a intégré ces deux contraintes dans sa méthodologie. Proposer un nouveau découpage de la nappe d'Alsace en secteurs homogènes a offert une trame à l'échelle de petites régions. Pour cela plusieurs couches d'informations issues d'études récentes ont servi à délimiter ces entités (voir chapitre 3.2 ; entre autres: étude statistique ACP, découpage des entités hydrogéologiques de l'Alsace). En tout 42 zones ont ainsi été délimitées.

La complexité hydrogéologique de chaque zone demande que celle-ci soit représentée par plus ou moins de points de mesures. Pour qualifier cette complexité, la valeur du battement de la nappe et le gradient hydraulique ont été associés dans leur valeur moyennée pour chaque zone.

La définition de 42 zones particulières caractérisées par un degré de complexité a alors servi de trame à plusieurs scénarios basés sur un nombre croissant de points. Dans ce cadre le choix des points a également porté sur la conservation de piézomètres à chroniques historiques longues. L'élimination de piézomètres redondants parmi ces chroniques historiques et le maintien de certains points de référence listés par les utilisateurs du modèle hydrodynamique régional ont finalement abouti à une proposition de réseau de 168 points.

L'autre caractéristique fondamentale de la gestion d'un réseau quantitatif est la fréquence des mesures. Les réponses apportées pour chaque enjeu s'accordent pour un suivi hebdomadaire. Il convient cependant de maintenir toutes les stations de surveillance automatique disponibles qui autorisent des enregistrements journaliers.

Enfin, l'évolution permanente des influences s'exerçant sur la nappe d'Alsace oblige à prévoir une mise à jour périodique de ce travail d'optimisation. Il peut s'agir de modifications provenant des influences anthropiques directes ; mais aussi des effets du changement climatique, susceptible d'influencer le régime des apports en eau et le comportement hydrogéologique de la nappe. Aussi une nouvelle étude statistique disposant des données les plus récentes sera programmée dans les prochaines années.

5. Bibliographie

Références bibliographiques de la synthèse historique :

APRONA / ARAA (2002/2003) - Note méthodologique relative au découpage de l'Alsace en « bassins versants », ou zones d'action, 11 p.

BRGM (1974) - Observation de la nappe phréatique de la plaine du Rhin. Optimisation du réseau piézométrique. Rapport BRGM ALS/06872, 6 p.

CIENPPA (1962) – La commission interministérielle d'étude de la nappe phréatique de la Plaine du Rhin. Son origine, son rôle, ses réalisations. Archivé à l'agence de l'eau Rhin-Meuse sous la cote 11534 RM. 23 p., 18 fig.

CIENPPA et SRAE (1986) – Programme d'actions pour la nappe phréatique de la Plaine d'Alsace. Archivé à l'agence de l'eau Rhin-Meuse sous la cote 11638 RM. 35 p.

Krebs G. (1977) – Rationalisation du réseau piézométrique de la nappe phréatique d'Alsace à partir des études sur modèle. Secteur alluvial Mulhouse-Colmar-Sélestat. Rapport BRGM ALS/1648, 23 p., 2 ann.

Longuevergne L. (2006) - Analyse statistique de la dynamique de la nappe d'Alsace. Rapport de stage dans le cadre du projet Région Alsace - Interreg III "Outils pédagogiques sur la nappe rhénane". BRGM RP-53326-FR, 80 p., 55 fig.

Ramon S. (1974) – Rationalisation d'un réseau de surveillance piézométrique. Réflexions générales adaptées au cas de la nappe alluviale d'Alsace. Rapport 110 674 – 02523 RM, 14 p., 1 ann.

Schomburgk S., Elsass Ph., Weng Ph., Kieffer S. (2005) - Note de réflexion sur les zones humides étudiées entre 2001 et 2005 en Alsace. BRGM/RP-54081-FR 61 p, 21 fig.

Schomburgk S., J._L. Pinault, L. Longuevergne (2005) – Méthodologie de définition des zones de remontée de nappe. Cartographie de l'aléa sur la Plaine d'Alsace. BRGM/RP-53579-FR, 82 p.

Schomburgk S., Elsass Ph., Urban S. (2008) – Découpage de l'aquifère rhénan en Alsace. Rapport BRGM ALS/NT08N19, 9 p., 5 fig.

Simler L. (1975) – Rationalisation du réseau piézométrique de la nappe phréatique d'Alsace à partir des études sur modèles. Secteurs de la nappe phréatique rhénane de Bâle Mulhouse et Strasbourg Lauterbourg. Nappe alluviale de la Doller. Nappe du pliocène de Haguenau. Rapport BRGM ALS/0948, 23 p., 4 ann.

Simler L. (1976) – Rationalisation du réseau piézométrique de la nappe phréatique d'Alsace à partir des études sur modèle. Secteur alluvial Strasbourg-Sélestat. Rapport BRGM ALS/1426, 12 p., 2 ann.

SRAE Alsace (1975) – Harmonisation et rationalisation du réseau piézométrique de la plaine d'Alsace. Proposition de création d'un réseau régional sur les secteurs : Bâle-Mulhouse. Strasbourg Nord (alluvions rhénanes). Strasbourg nord (pliocène de Haguenau). Nappe de la Doller. 3 p., 5 ann. Archivé à l'agence de l'eau Rhin-Meuse sous la cote 111 915 - 03231 D RM.

SRAE Alsace (1987) – La nappe phréatique de la Plaine d'Alsace. Brochure, 4 p. Archivé à l'agence de l'eau Rhin-Meuse sous la cote 11907 D RM.

Urban S., Boucher J., Mardhel V., Xu D. (2010) - Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA ; Bassin Rhin-Meuse ; Année 4. Rapport BRGM/RP-58091-FR, 70 p., 5 ann.

Vaute L., Fourniguet G., Demangeon G., Duguet K. (2003) – Maîtrise d'ouvrage du réseau piézométrique du bassin Rhin-Meuse en 2003. Rapport BRGM/RP-53071-FR, 20 p., 3 ann.

Des remerciements sont adressés aux personnes impliquées dans la gestion du réseau piézométrique de la nappe phréatique d'Alsace qui ont apporté leurs témoignages concernant l'historique du réseau :

- Yves Babot ;
- Yves Gobillon ;
- Christophe Kauffmann ;
- Gaston Krebs ;
- Gilles Rinck.

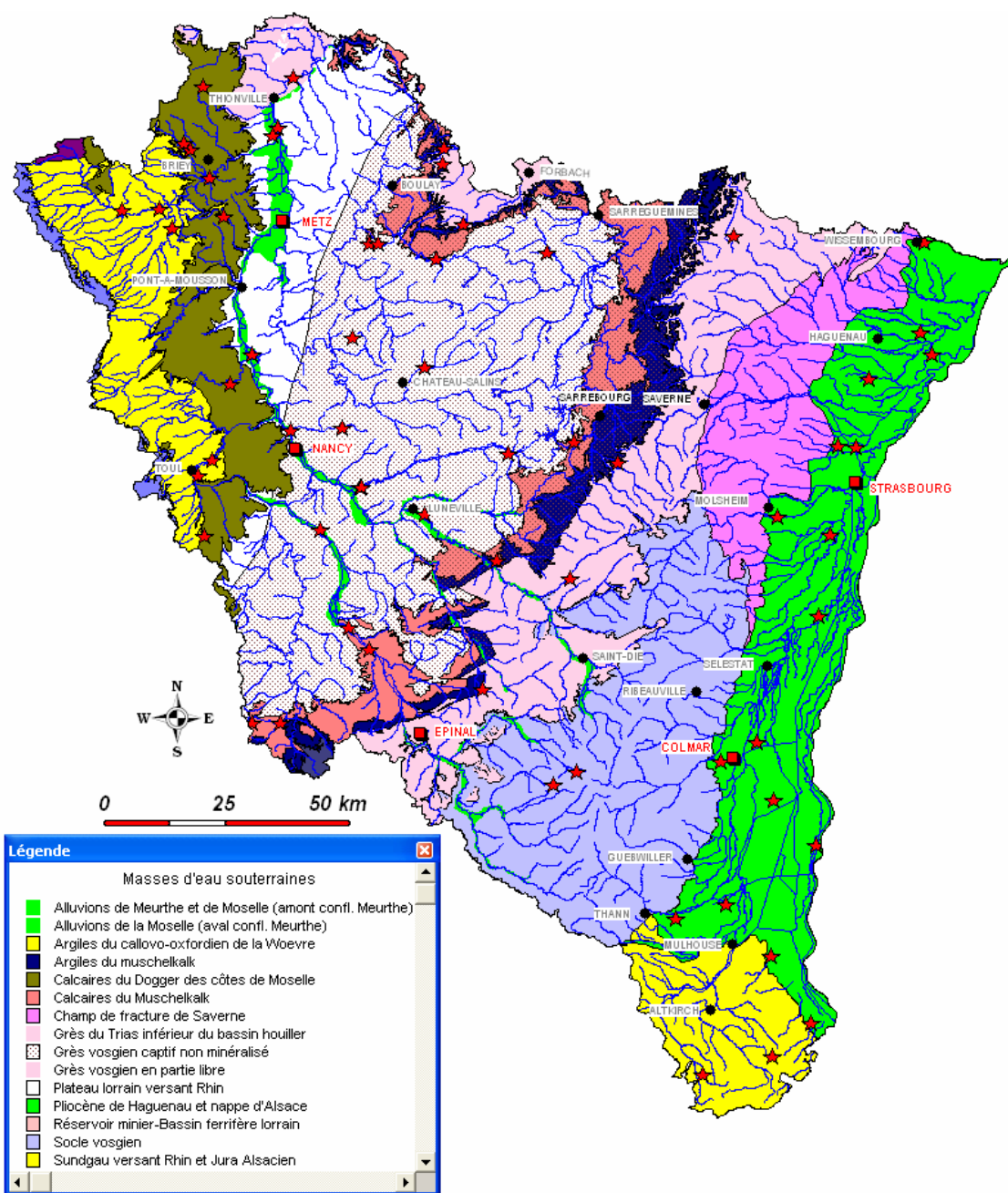
Annexe 1

Réseau de suivi de l'APRONA des zones humides de l'Illwald et du Ried



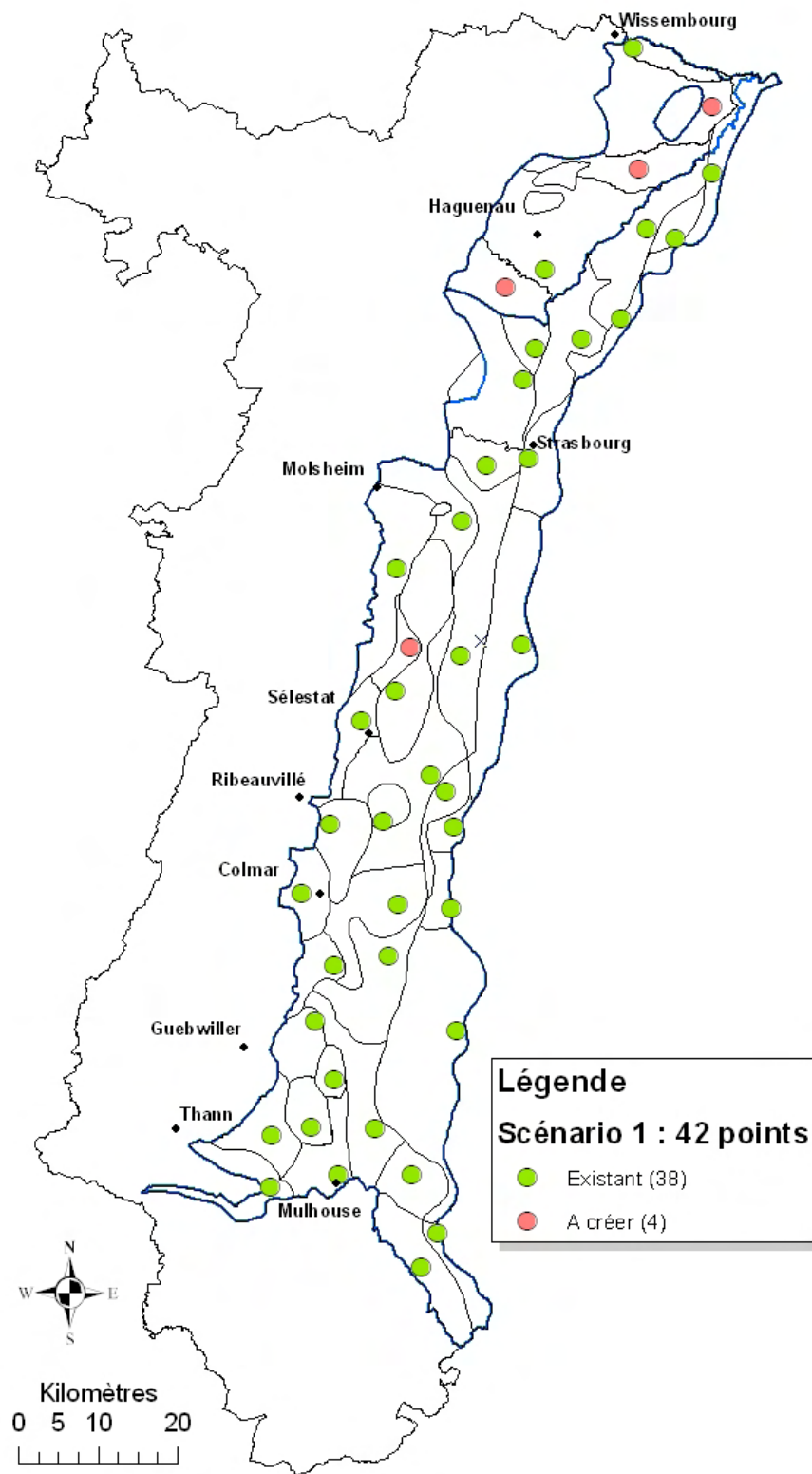
Annexe 2

Réseau de suivi quantitatif des eaux souterraines du district Rhin (arrêté préfectoral n°624 du 22 décembre 2006)



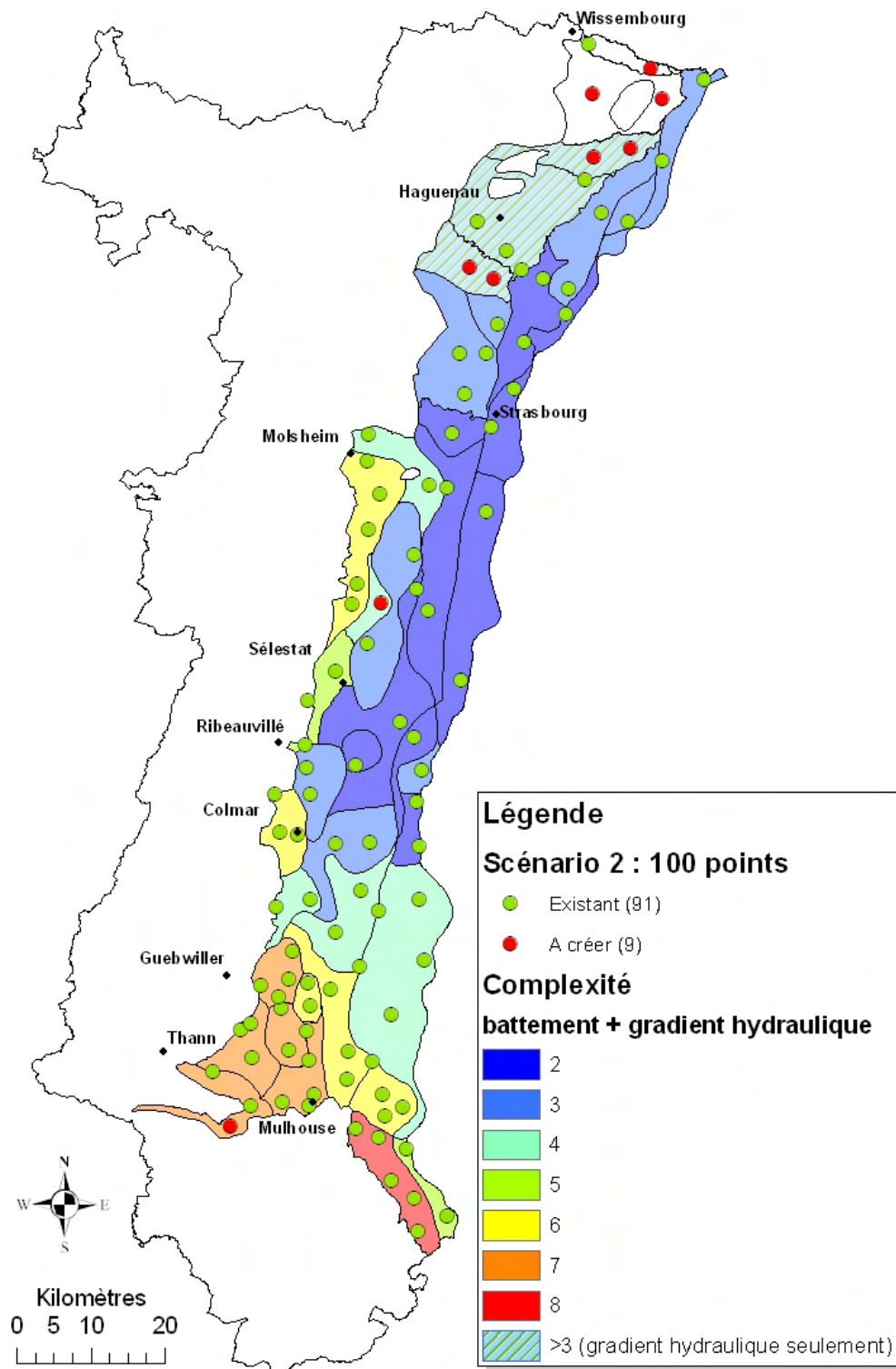
Annexe 3

Scénario 1 : 42 points de mesure, soit 1 point par zone



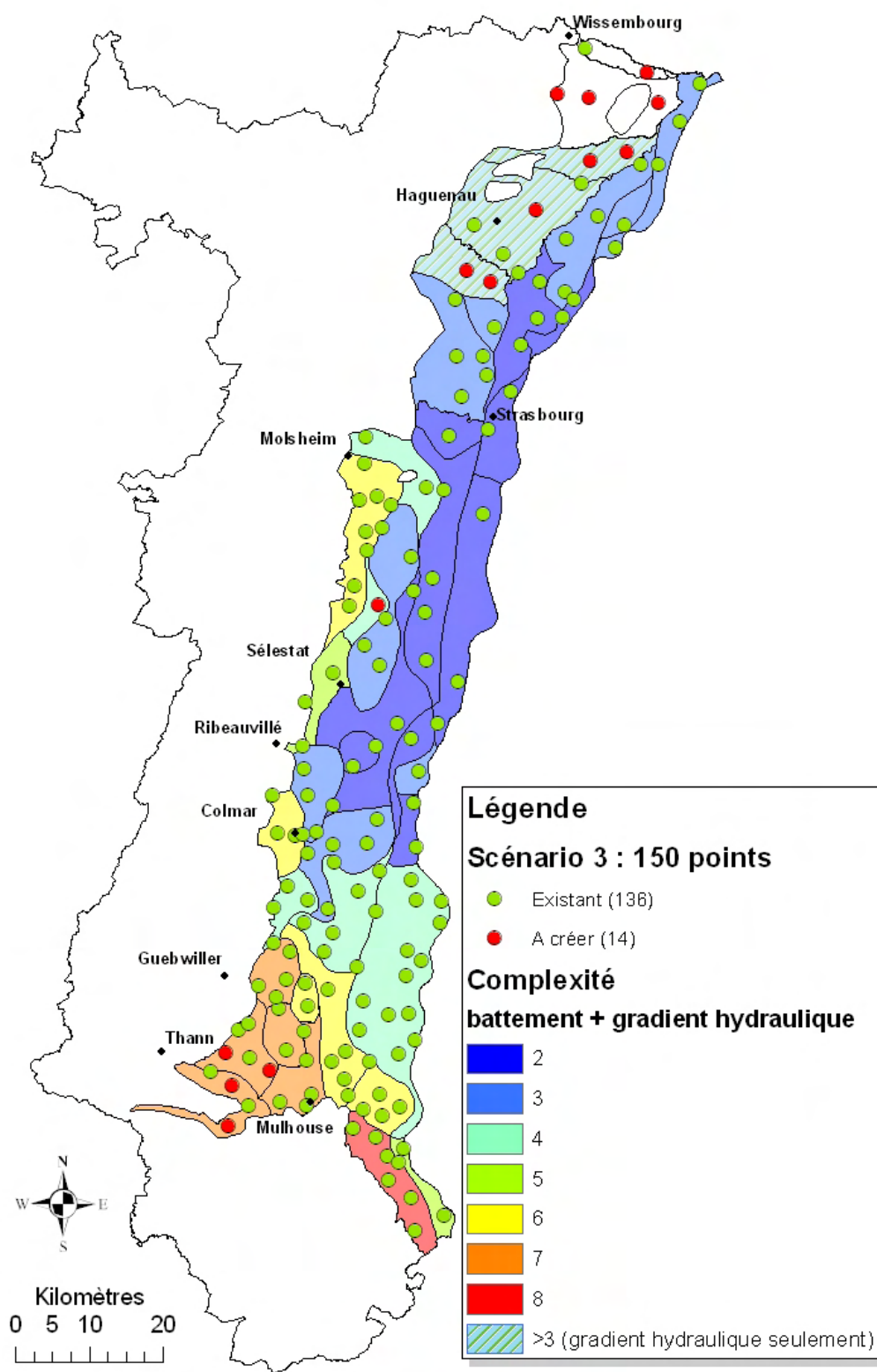
Annexe 4

**Scénario 2 : 100 points de mesure,
soit 2 à 3 points par zones uniformes
et 3 à 5 en zones complexes,
modulé avec la surface**



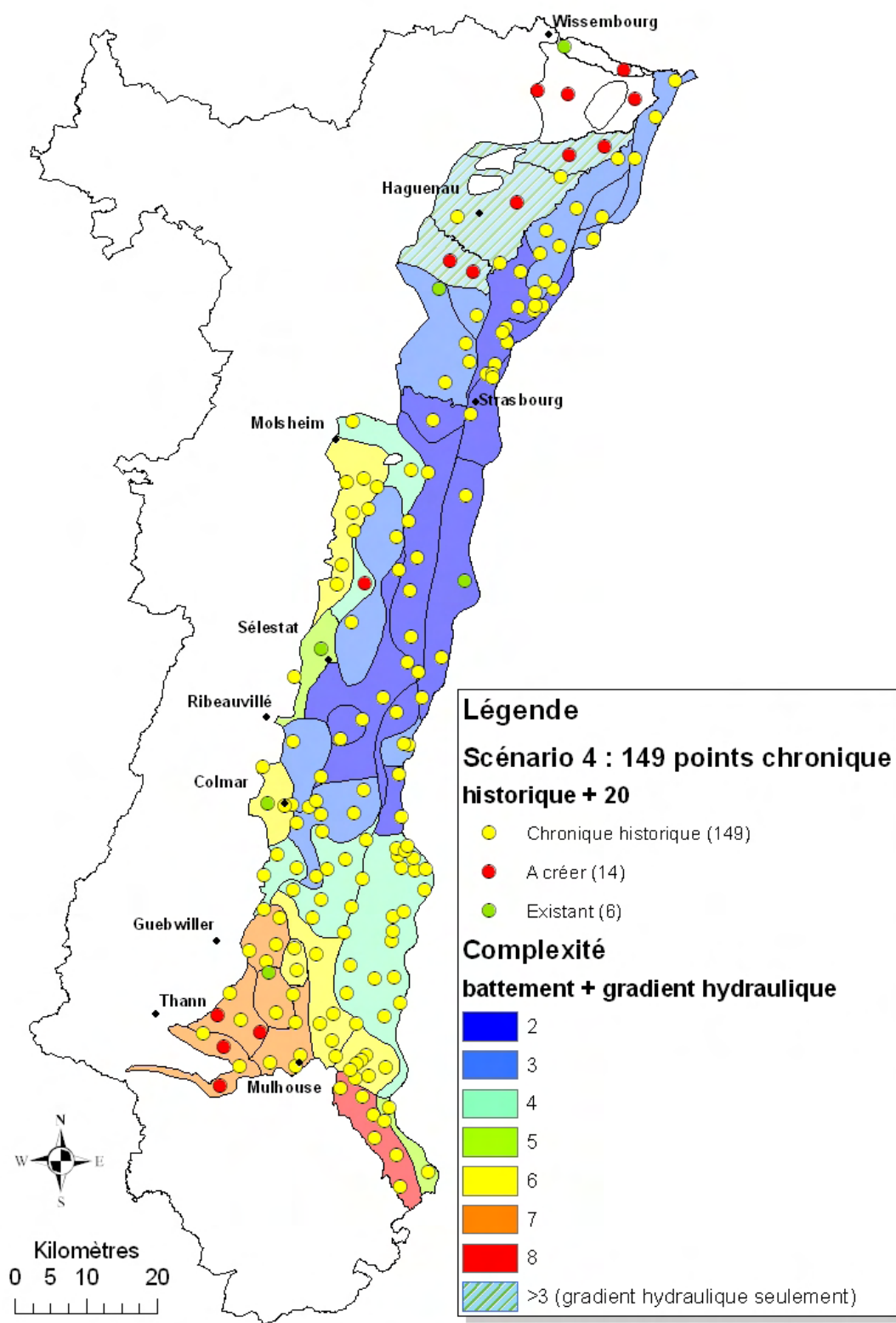
Annexe 5

Scénario 3 : 150 points de mesure, à partir des 100 points, équilibre entre zone complexe et points avec chronique historique



Annexe 6

Scénario 4 : toutes les chroniques historiques - 149 points - complété en zones lacunaires



Annexe 7

Zones homogènes : tableau de synthèse du découpage

REGION	N°	ZONE	ORIGINE	COMMENTAIRES	Surface km2	Battement moyen (m)	Note battement moyen	Gradient hydraulique moyen en ‰	Note gradient hydraulique moyen	Critère de complexité (note battement + note gradient)
Sud-Alsace	1	Thur - Doller Amont	ACP	Contributions pluies & rivières confondues	59,1	3,70	3	6,78	4	7
	2	Débouché de la Thur	RATIONALISATION (Mulhouse - Sélestat, secteur n°6) - ACP	Précipitations + apports de la Thur (+ pompages, canal de drainage pour éviter inondations) / correspond à une zone de valeurs significatives du 5ème vecteur ACP	60,8	3,60	3	6,74	4	7
	3	Bassin potassique	RATIONALISATION (Mulhouse - Sélestat, secteur n°14)	Influences multiples : apports vosgiens (Thur et Doller), influence de l'III, apports du Sundgau + influences de l'irrigation / correspond à une zone de valeurs significatives du 5ème vecteur ACP	48,0	5,20	3	4,62	4	7
	4	débouché de la lauch et amont de mertzheim	RATIONALISATION (Mulhouse - Sélestat, secteur n°7)	Apports de la Lauch + précipitations	46,1	6,30	4	4,42	3	7
	5	Confluence Thur - III	ACP	Influence rivières	19,7	7,50	4	1,33	2	6
	6	Dans le NV3 Alluvion Récentes Vosgiennes, Aval Doller - III avant confluence avec Thur	NV3	Entité résiduelle dans le NV3 Alluvions récentes vosgiennes	49,9	6,50	4	3,33	3	7
	7	Influence du Rhin / Sierentz	ACP	Entité délimitée au nord par le début du NV3 alluvions rhénanes anciennes	28,1	2,60	2	2,18	3	5
	8	Bordure orientale du Sundgau	ACP	Vecteur 5: influence des apports du Sundgau	83,1	8,80	4	6,37	4	8
	9a	Zone centrale Sud	NV3 - ACP	fort battement	54,6	9,24	4	1,63	2	6
	9b	Zone centrale Sud	NV3 - ACP	Entité résiduelle située entre la zone d'influence du Rhin à l'Est, le fossé de Sierentz au sud, les alluvions vosgiennes récentes à L'ouest et un zone d'influence rivière au nord. Très fort battement	100,8	6,80	4	1,74	2	6
	9c	Zone centrale Sud	NV3 - ACP	9a avec battement plus modéré	105,3	3,60	3	0,84	1	4
Centre-Alsace1	10a	Zone de bordure Thur - Fecht - Giessen	ACP	Entité de bordure de type ACP influence Rivière délimitée à l'Est par le polygone ACP pluie + Rivière et l'extension de la zone de valeurs significatives du 5ème vecteur ACP	36,9	4,60	3	1,08	1	4
	10b	Zone de bordure Thur - Fecht - Giessen	Piézométrie		49,2	2,20	2	6,33	4	6
	11	Zone Fecht - III	ACP	Combinaison Précipitation - Rivière	62,6	2,18	2	0,88	1	3
	12	Zone Début Blind - III	ACP - ZNS<2m	Influence de rivière délimitée au nord par le début de la nappe sub-affleurante	98,6	2,78	2	0,86	1	3
	13a	Influence du Rhin avant Colmar	ACP - ZNS<2m	Influence du Rhin délimitée au nord par le début de la nappe sub-affleurante	266,4	4,20	3	1,03	1	4
	13b	Influence du Rhin avant Colmar	ACP - ZNS<2m	13a avec battement nul	28,1	0,85	1	0,96	1	2
	14	Influence Rhin + Rivière	ACP	Influence combinée	37,1	1,51	1	0,92	1	2
	15	Zone centrale rivière phréatique	ACP - ZNS<2m - NV3	Influence de rivière en zone de nappe sub-affleurante délimité à l'Ouest par les alluvions vosgiennes (N°17)	154,4	1,77	1	0,80	1	2
	16	Zone centrale indéterminée	ACP	Entité résiduelle non explicitée en zone de nappe sub-affleurante	24,3	1,49	1	0,87	1	2
	17	Zone Giessen	NV3 - ACP	Influence de rivière délimitée par le polygone d'alluvions récentes Fecht - Giessen au Sud et la limite ouest d'une zone pluie + rivière	48,0	2,68	2	2,72	3	5
	18	Zone centrale III - Scheer - Andlau	ACP	Influence combinée pluie - rivière	130,0	2,12	2	0,75	1	3

REGION	N°	ZONE	ORIGINE	COMMENTAIRES	Surface km2	Battement moyen (m)	Note battement moyen	Gradient hydraulique moyen en ‰	Note gradient hydraulique moyen	Critère de complexité (note battement + note gradient)
Centre-Alsace2	19	Zone de Bordure Andlau - Ehn - Bruche. Excavation de l'Oligocène affleurent au NE de la zone.	NV3 - ACP	Influence non caractérisée par les rivières mais par le vecteur 5 (effet des faibles perméabilités des alluvions vosgiennes), recoupe les polygones d'alluvions anciennes Ehn + Andlau ainsi que ceux de la Bruche	115,2	3,58	3	3,46	3	6
	20	Zone périphérique / rivière Scheer	ACP	Influence de la rivière	25,2	3,52	3	0,65	1	4
	21	Zone centre Plaine	ACP - Rationalisation	Entité résiduelle recoupant largement la zone N°7 du secteur Strasbourg - Sélestat (Ill en équilibre avec la nappe. Canal de décharge et d'alimentation de l'Ill régularise niveaux Ill en aval Erstein)	159,3	1,84	1	0,79	1	2
	22	Zone périphérique / Andlau - Ehn - Bruche. Excavation de l'Oligocène affleurent.	ACP	influence de la pluie	67,4	1,47	1	2,90	3	4
	23	zone Bruche	ACP - ZNS<2m - Zone hydro	Combinaison influence rivière vec une nappe sub-affleurante / la llimite nord est celle de la zone hydrographique de la Bruche	43,0	1,33	1	0,69	1	2
	24	Zone Souffel - Landgraben - Zorn (cône amont)	ACP - NV3	Influence rivière, la partie Nord est tronquée par la présence de Pliocène affleurant (entité NV3)	138,5	2,41	2	0,91	1	3
	25	Cône aval de la Zorn	ACP	Influence maximum du vecteur 5	28,4	2,61	2	1,13	1	3
	26a	Influence du Rhin après Colmar	ACP	Limite Nord = Barrage? Battement moyen	20,3	2,80	2	1,02	1	3
	26b	Influence du Rhin après Colmar	ACP	Limite Nord = Barrage? Battement nul	158,1	0,83	1	0,81	1	2
	26c	Influence du Rhin après Colmar	ACP	Limite Nord = Barrage? Battement moyen	60,2	1,86	1	0,62	1	2
Nord-Alsace	27	Formation pliocène affleurante entre Zorn et Moder	NV3 - Rationalisation	Aquifère sans points de mesure / délimité par la rationalisation 74 - 77 en deux zones du secteur Strasbour Nord - Nappe du Pliocène: N°2 "Est de Mommenheim" (influence uniquement dûe aux précipitations) + N°3 "Sud - Est de Haguenau" ("Les fluctuations des hydrogrammes reflètent le régime des précipitations")	69,1	aucune info	0	4,13	3	3
	28	Alluvions récentes Moder - Zinsel & Eberbach. Excavation de l'Oligocène affleurent.	NV3 - Zone Hydro - ZNS<2m	Entité d'alluvions vosgiennes récentes délimitéE au nord par une zone de nappe sub-affleurante liée au BV de la Sauer / Peu de points / divisée en plusieurs secteurs issus de la rationalisation 74-77	179,8	aucune info	0	4,25	3	3
	29	Alluvions récentes Sauer. Excavation de l'Oligocène affleurent.	NV3 - Zone Hydro - ZNS<2m	Entité d'alluvions vosgiennes récentes de nappe sub-affleurante liée au BV de la Sauer / délimité au nord par le pliocène affleurant / aucun point	71,6	aucune info	0	2,42	3	3
	30	Entité Nappe Pliocène de Haguenau Riedseltz. Excavation de l'Oligocène affleurent.	NV3	Système aquifère complexe non suivi	128,8	aucune info	0	aucune info	0	0
	31	Alluvions récentes de la Sauer	NV3	NV3 Unité aquifère des alluvions récentes vosgiennes de la Lauter	26,4	aucune info	0	aucune info	0	0
	32	Zone de plaine nord de Strasbourg indéfinie	ACP	Zone de plaine nord résiduelle idéfinie	89,6	1,82	1	0,58	1	2
	33	Influence du Rhin au Nord de Strasbourg jusqu'à la Moder	ACP		25,3	1,78	1	0,58	1	2
	34	Zone d'influence Rivière - Pluie au Nord de Strasbourg	ACP + Rationalisation 74 - 77	Rassemble les influences Rivières + Pluie de l'analyse ACP et couvrant largement la zone E "Zone centrale entre Herrlisheim et Seltz" du secteur Strasbourg Nord, Nappe Rhénane: "Influencée par précipitations et apports latéraux du pliocène. Hydrogrammes caractéristiques du régime vosgien (pics au printemps)"	101,0	2,23	2	0,58	1	3
	35	Zone de plaine nord indéfinie	ACP		25,7	2,34	2	0,61	1	3
	36	Influence du Rhin Nord	ACP - NV3	Zone d'influence délimité pour sa bordure Nord Ouest par l'extension du Pliocène affleurant	69,8	3,30	2	0,49	1	3

Annexe 8

Liste des piézomètres retenus

CODE BSS	XLAMBERT_II	YLAMBERT_II	ALTITUDE	ETAT	EQUIPE
01695X0131/F	1012961	2461429	0	Existant	
01987X0124/631-1	998677	2438848	0	Existant	
02341X0037/PZ37	989466	2430262	0	Existant	
02342X0196/PZ	995182	2427192	0	Existant	
02343X0003/561	1001687	2433435	0	Existant	1
02343X0014/318	1000861	2424984	0	Existant	
02346X0139/313A	995317	2419473	0	Existant	1
02347X0457/246G	1002816	2415184	0	Existant	
02714X0219/PZ	982871	2404859	0	Existant	1
02718X0022/F	981725	2394409	0	Existant	1
02723X0109/245	1001882	2406923	0	Existant	
02723X0900/245R1	999097	2412109	0	Existant	
02725X0180/241C	991264	2401504	148	Existant	
02726X0016/236F	996966	2401937	0	Existant	1
02726X0039/231B1	995121	2395066	0	Existant	
02727X0016/245B	1001446	2402999	0	Existant	
03077X0238/209F	978489	2376315	0	Existant	1
03078X0333/PZ8	984941	2377202	0	Existant	1
03082X0023/227	998744	2385828	0	Existant	
03085X0208/PZ7	987391	2381032	0	Existant	1
03423X0056/100	976037	2366671	0	Existant	
03426X0226/PZ3	970985	2354329	0	Existant	1
03427X0252/134	979683	2356355	0	Existant	
03428X0067/91B	982430	2360130	0	Existant	
04131X0266/PP4	969475	2327200	0	Existant	
04138X0019/25	987850	2321530	0	Existant	
04138X0019/25	987850	2321530	0	Existant	
04454X0030/P12	991500	2304060	0	Existant	1
01698X0002/373B	1028500	2456517	110	Chronique importante	
01987X0009/337C	997786	2437270	157	Chronique importante	
01993X0002/362A	1025882	2451422	112	Chronique importante	
01995X0007/343	1010248	2435436	122	Chronique importante	
01995X0012/342B	1014634	2438474	120	Chronique importante	1
01995X0103/338B1	1012322	2443059	133	Chronique importante	1
01996X0008/341	1018158	2437313	119	Chronique importante	
01996X0059/352D1	1020435	2445510	115	Chronique importante	
01997X0008/352E	1022961	2445557	115	Chronique importante	
02344X0004/569D	1003860	2430828	135	Chronique importante	
02344X0026/319E	1006388	2424642	130	Chronique importante	
02344X0029/319G	1008795	2426636	127	Chronique importante	
02344X0062/328A	1006653	2429644	126	Chronique importante	
02344X0070/319D1	1009740	2424807	128	Chronique importante	
02344X0091/327A	1009537	2432186	125	Chronique importante	
02346X0045/245N	996077	2413944	147	Chronique importante	
02347X0008/309	999462	2416835	135	Chronique importante	
02347X0022/314	999019	2419362	137	Chronique importante	1
02347X0025/318 A	1000581	2423334	135	Chronique importante	
02348X0016/316K	1004653	2421571	132	Chronique importante	
02351X0002/329	1012202	2433179	124	Chronique importante	
02351X0013/320A	1011323	2427104	127	Chronique importante	
02352X0002/339A	1016973	2434265	122	Chronique importante	
02714X0050/240B	982956	2408380	164	Chronique importante	

CODE BSS	XLAMBERT_II	YLAMBERT_II	ALTITUDE	ETAT	EQUIPE
02718X0003/285D	982111	2399779	175	Chronique importante	
02718X0017/233	985171	2396095	156	Chronique importante	
02718X0035/285B	984533	2400368	163	Chronique importante	
02718X0039/271	983187	2393000	158	Chronique importante	
02722X0084/244A	994410	2408497	145	Chronique importante	
02723X0101/245E	999715	2409431	140	Chronique importante	1
02725X0024/276	986480	2399142	156	Chronique importante	
02725X0025/232A	990867	2394253	153	Chronique importante	
02726X0008/235G	998980	2397980	147	Chronique importante	1
02726X0029/238	993638	2401222	148	Chronique importante	1
03074X0015/263	980680	2385330	174	Chronique importante	
03074X0017/264	981368	2388029	170	Chronique importante	
03077X0026/249	974653	2372270	232	Chronique importante	
03078X0014/214	982850	2379973	167	Chronique importante	
03081X0025/223	991139	2384500	159	Chronique importante	1
03081X0026/224	989497	2387430	160	Chronique importante	
03081X0028/229	989201	2392082	156	Chronique importante	
03081X0038/269	992078	2389173	155	Chronique importante	1
03085X0022/257	991270	2377949	164	Chronique importante	
03085X0033/212	990710	2374425	169	Chronique importante	
03086X0024/212C	995612	2375086	165	Chronique importante	
03422X0029/95	974478	2363225	181	Chronique importante	1
03423X0064/94A	981228	2363476	178	Chronique importante	1
03424X0026/247	987345	2369334	173	Chronique importante	
03424X0029/203	984412	2366343	176	Chronique importante	
03426X0159/93A	970300	2359540	204	Chronique importante	1
03426X0195/132	974300	2354180	190	Chronique importante	
03426X0254/137	974082	2355871	0	Chronique importante	
03427X0027/92	978420	2358230	183	Chronique importante	1
03427X0028/83A	976730	2353880	188	Chronique importante	
03427X0030/83	978450	2352840	190	Chronique importante	
03427X0353/F	975140	2359490	0	Chronique importante	
03428X0026/122	983160	2353060	189	Chronique importante	
03428X0029/89	984490	2356350	186	Chronique importante	
03431X0027/207A	992770	2369294	172	Chronique importante	
03431X0045/206	989089	2367304	175	Chronique importante	
03431X0153/211A	992281	2372895	167	Chronique importante	
03435X0013/201A	990176	2362776	178	Chronique importante	
03435X0043/90A	989520	2358450	181	Chronique importante	
03782X0025/52B	970390	2344230	200	Chronique importante	
03782X0069/73	972250	2347100	195	Chronique importante	
03782X0080/84B	975000	2351640	191	Chronique importante	1
03782X0086/67A	975030	2345280	197	Chronique importante	
03782X0113/65C	974510	2342230	202	Chronique importante	1
03783X0045/82	978650	2350350	194	Chronique importante	
03783X0046/71	981890	2346410	198	Chronique importante	1
03783X0091/72A	979370	2345150	199	Chronique importante	1
03784X0010/64	984320	2343670	200	Chronique importante	
03784X0024/77	984890	2349220	194	Chronique importante	
03785X0083/53B	968400	2333580	237	Chronique importante	
03786X0020/52A	970400	2339460	205	Chronique importante	
03786X0024/52	972100	2334380	212	Chronique importante	
03786X0074/130	972690	2338210	206	Chronique importante	1

CODE BSS	XLAMBERT_II	YLAMBERT_II	ALTITUDE	ETAT	EQUIPE
03786X0075/51A	974680	2333840	213	Chronique importante	1
03786X0118/43A	970830	2332100	221	Chronique importante	
03787X0070/42A	977850	2333000	214	Chronique importante	1
03787X0071/121A	981780	2336080	211	Chronique importante	1
03787X0072/59A	982840	2339740	206	Chronique importante	1
03787X0088/65A	978540	2340860	204	Chronique importante	1
03787X0109/60A	977330	2338200	208	Chronique importante	1
03788X0039/49	988560	2335000	210	Chronique importante	
03788X0041/57	988730	2338350	204	Chronique importante	
03791X0040/V45A	993250	2345060	193	Chronique importante	1
03791X0042/V50	990660	2348290	191	Chronique importante	
03791X0045/66A	989775	2345275	196	Chronique importante	
03791X0048/85B	989870	2352550	187	Chronique importante	
03795X0040/V42	993060	2342130	198	Chronique importante	
04124X0105/P16	961750	2321900	303	Chronique importante	1
04131X0081/28	967130	2323720	258	Chronique importante	
04131X0479/129	965640	2327530	0	Chronique importante	
04132X0086/PP6	972200	2324800	233	Chronique importante	1
04132X0096/29A	974820	2323380	228	Chronique importante	
04132X0190/41B	975060	2330800	218	Chronique importante	1
04132X0193/41C	974550	2327300	222	Chronique importante	1
04133X0006/30	983580	2323280	230	Chronique importante	
04133X0029/32A	980200	2324590	228	Chronique importante	1
04133X0030/40A	982690	2331500	218	Chronique importante	1
04133X0033/40B	982060	2327480	223	Chronique importante	1
04133X0069/31B	978280	2323330	229	Chronique importante	
04134X0022/39	986130	2329550	220	Chronique importante	
04134X0052/S38	987400	2324350	219	Chronique importante	
04134X0095/39C	988830	2329800	213	Chronique importante	
04134X0133/37A	989610	2326240	217	Chronique importante	1
04135X0140/M13	966975	2317280	0	Chronique importante	
04136X0181/M77	971250	2317680	244	Chronique importante	
04136X0199/M107	974870	2317200	239	Chronique importante	
04136X0582/M132	975625	2318850	237	Chronique importante	
04137X0009/C20	982580	2316710	239	Chronique importante	
04137X0018/15	981300	2314060	244	Chronique importante	1
04137X0051/S23	984440	2313010	246	Chronique importante	1
04137X0066/53A	980092	2320892	235	Chronique importante	
04138X0005/21	984850	2318820	235	Chronique importante	
04138X0027/C19	987600	2317140	229	Chronique importante	
04138X0033/S27	985200	2315810	239	Chronique importante	1
04454X0011/13	988140	2311330	234	Chronique importante	1
04454X0013/8A	987470	2309570	238	Chronique importante	1
04454X0019/S19	985950	2310410	247	Chronique importante	1
04454X0023/S14	986120	2307150	256	Chronique importante	
04454X0033/S11	989100	2304740	251	Chronique importante	1
04458X0023/S3	989610	2300210	269	Chronique importante	1
04465X0013/2	993580	2302250	246	Chronique importante	

CODE BSS	XLAMBERT_II	YLAMBERT_II	ALTITUDE	ETAT	EQUIPE
X	983344	2384199	0	A créer	
X	996747	2431094	0	A créer	
X	1013582	2446153	0	A créer	
X	1022955	2453971	0	A créer	
X	964292	2314563	0	A créer	
X	1000058	2429571	0	A créer	
X	1018515	2447290	0	A créer	
X	1013511	2454755	0	A créer	
X	1021304	2458118	0	A créer	
X	964763	2319938	0	A créer	
X	969856	2322121	0	A créer	
X	1006188	2439304	0	A créer	
X	963816	2324519	0	A créer	
X	979020	2379791	0	A créer	
X	972150	2350987	0	A créer	



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

Service géologique régional Alsace
Parc Club des Tanneries, 15 rue du Tanin
B.P. 70177 – Lingolsheim
67834 – Tanneries Cedex – France
Tél. : 03 88 77 48 90