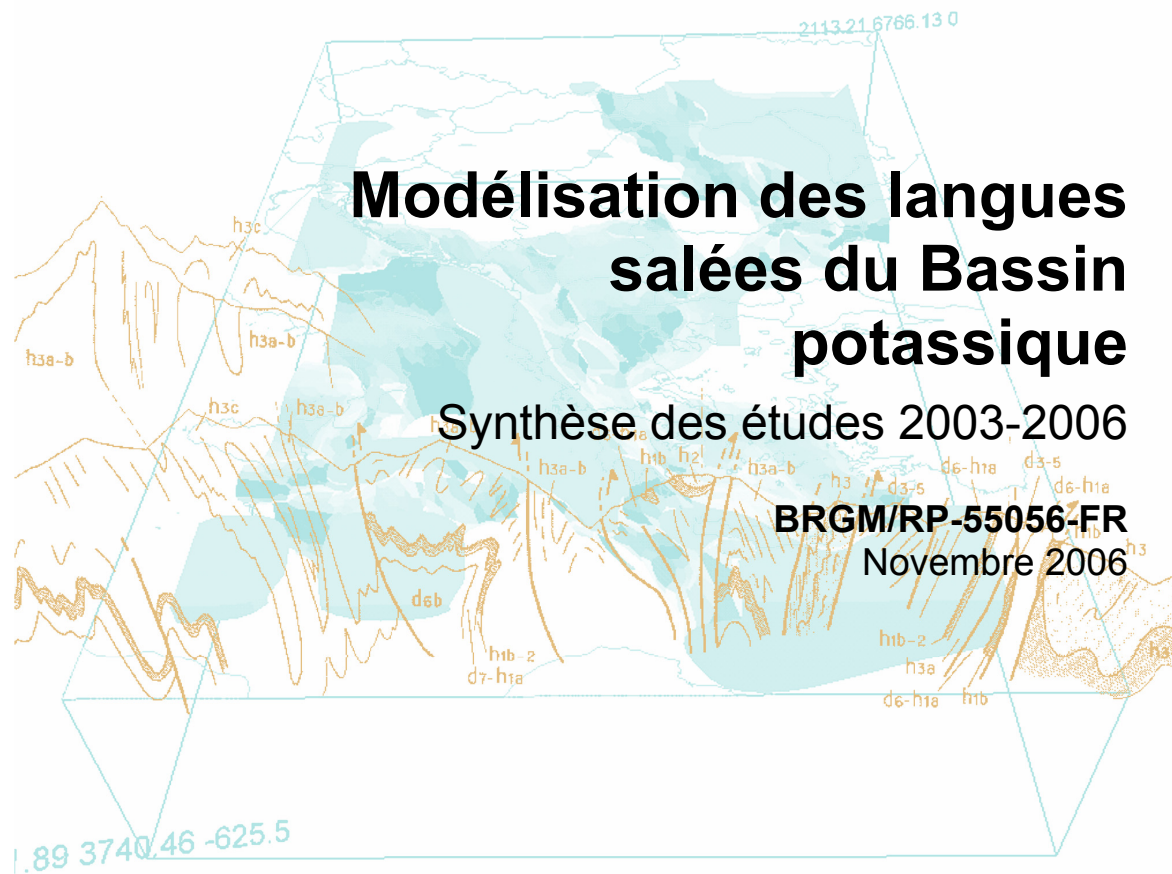


Document public  
Accès différé



Document public  
Accès différé

# Modélisation des langues salées du Bassin potassique

Synthèse des études 2003-2006

**BRGM/RP-55056-FR**  
Novembre 2006

Étude réalisée dans le cadre des opérations  
de Service public du BRGM 06 DEPZ 02

**P. Elsass**



Mots clés : Nappe phréatique, salinité, modélisation, dépollution, mines de potasse, Haut-Rhin.

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

ELSASS P. (2006) - Modélisation des langues salées du Bassin potassique. Synthèse des études 2003-2006. Rapport BRGM/RP-55056-FR, 40 p.

© BRGM, 2006, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

## Synthèse

La pollution saline issue principalement des terrils des Mines de potasse d'Alsace (MDPA) affecte encore aujourd'hui près d'une centaine de km<sup>2</sup> de la nappe d'Alsace dans le département du Haut-Rhin. Il existe notamment, en aval du bassin potassique, deux panaches d'eaux souterraines salées de plus de 20 kilomètres de longueur, connus sous les noms de "langue salée Est" et "langue salée Ouest", dont la propagation vers l'aval engendre des risques pour l'alimentation en eau potable.

Si la situation des tranches superficielles de l'aquifère montre une tendance générale à l'amélioration suite aux travaux de fixation et de dépollution des sources mises en œuvre par les MDPAs avec le concours financier de l'Agence de l'eau Rhin-Meuse, des interrogations subsistent sur la salure des couches profondes de la nappe et sur son évolution future.

La réponse à de telles interrogations passe nécessairement par l'utilisation d'un modèle hydrodynamique permettant de simuler l'évolution de la salure tant en surface qu'en profondeur et d'évaluer l'impact de différents scénarios d'arrêt de pompages ou de mise en place de barrages de dépollution.

Un projet de modélisation a été lancé en 2003 par le BRGM avec le concours financier de la Région Alsace, de l'Agence de l'eau Rhin-Meuse et des MDPAs, en prolongation d'un modèle multicouche prototype construit en 1998. Ce projet de modélisation plus fine de l'hydrodynamique et du transport des chlorures, destiné à apporter une aide à la décision aux acteurs du domaine, a été achevé en juin 2006.

Le projet de modélisation s'est révélé complexe à mettre en œuvre en raison du grand nombre de données à prendre en compte et des nombreux phénomènes à simuler : caractère multicouche de l'aquifère, interactions nappe-rivières, mise en eau temporaire de canaux, soutien d'étiage, infiltrations des terrils salés, très nombreux pompages...

Malgré des imprécisions au voisinage immédiat des terrils où les effets densitaires sont très importants et où l'impact des opérations de dissolution accélérée n'a pu être pris en compte, la restitution en fin de calage du modèle des cartes historiques des chlorures et des chroniques de concentration observées est globalement satisfaisante. Le modèle semble optimiste sur la rapidité du nettoyage des fortes teneurs observées sous certains terrils, et pessimiste en ce qui concerne l'impact en aval de ces mêmes terrils.

La comparaison entre le scénario dit tendanciel, bâti d'après les prévisions actuelles des MDPAs sur le traitement des terrils et l'abandon progressif des pompages de dépollution et de fixation, et le scénario où l'on maintiendrait tous les pompages existant en 2006 en fonctionnement jusqu'en 2014, montre que les prévisions des MDPAs sont très proches de l'optimum.

Les simulations indiquent que les deux langues aval devraient être complètement nettoyées en surface en 2014. En profondeur il subsisterait des concentrations ne dépassant pas 500 mg/L dans la langue Est et 2 g/L dans la langue Ouest. La prolongation des simulations jusqu'en 2027 (en arrêtant en 2014 les pompages où la teneur en chlorures est descendue en dessous de la limite de potabilité) indique que le bon état (défini comme ayant des teneurs en tout point en dessous de 250 mg/L) devrait être atteint en 2027 à l'aval du Bassin potassique en surface comme en profondeur, mais qu'il pourrait subsister des concentrations trop élevées en profondeur (jusqu'à 2 g/L) à l'aval des terrils Alex et Rodolphe (au début de la langue Ouest) et à l'intérieur du Bassin potassique.

## Sommaire

<b>1</b>	<b>Contexte.....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Données d'entrée du modèle.....</b>	<b>11</b>
2.1	Géométrie du modèle .....	11
2.1.1	Topographie.....	11
2.1.2	Géologie.....	12
2.1.3	Maillage du modèle.....	13
2.2	Données hydrodynamiques .....	14
2.2.1	Chroniques de mesures piézométriques .....	15
2.2.2	Géométrie et débits des cours d'eau .....	15
2.2.3	Données climatiques.....	16
2.2.4	Prélèvements par pompage.....	16
2.3	Données pour le transport de la salure.....	16
2.3.1	Concentrations en chlorures dans la nappe .....	17
2.3.2	Sources de chlorures modélisées.....	18
2.3.3	Infiltrations sur les terrils .....	20
<b>3</b>	<b>Calage du modèle .....</b>	<b>21</b>
3.1	Les phases du calage .....	21
3.1.1	Calage de l'hydrodynamique en régime permanent .....	21
3.1.2	Calage de l'hydrodynamique en régime transitoire.....	22
3.1.3	Calage du transport de masse en régime transitoire.....	23
3.1.4	Cartes de concentration observées et simulées en 2004 .....	24

<b>4</b>	<b>Scénarios d'exploitation</b> .....	<b>27</b>
4.1	Scénario tendanciel.....	27
4.1.1	Définition du scénario.....	27
4.1.2	Cartes simulées en 2014.....	28
4.1.3	Résultats .....	29
4.2	Scénario 1 .....	29
4.2.1	Différences entre scénario 1 et scénario tendanciel.....	29
4.2.2	Cartes simulées en 2027.....	30
4.3	Scénarios 1 bis et 1 ter : variantes sur EBE .....	33
4.4	Scénario 2 : Hypothèse d'une source supplémentaire .....	33
<b>5</b>	<b>Conclusions</b> .....	<b>37</b>
<b>6</b>	<b>Références</b> .....	<b>37</b>

## Liste des figures

Figure 1 : Carte de la salure en 2005.....	10
Figure 2 – Exemple de profil Ouest-Est à travers le modèle géométrique.....	11
Figure 3 – Maillage sur fond de la topographie .....	13
Figure 4 - Points de suivi de la piézométrie et carte de situation observée le 20 juin 2002.....	14
Figure 5 – Charges simulées en régime permanent (en m) avec isovaleurs simulées (en bleu) et observées (en rouge) .....	22
Figure 6 – Cartes de concentrations observées (en haut) et simulées (en bas) en 2004 (mg/L) couche 1.....	25
Figure 7 – Scénario tendanciel – concentrations en 2014 (mg/L) – couche 1 .....	28
Figure 8 - Scénario tendanciel – concentrations en 2014 (mg/L) – couche 2.....	28
Figure 9 - Scénario tendanciel – concentrations en 2014 (mg/L) – couche 3.....	29
Figure 10 – Ecart en mg/L entre concentrations en 2014 calculées avec le scénario tendanciel et avec le scénario 1 (couche 1).....	30
Figure 11 – Scénario 1 – concentrations en 2027 (mg/L) – couche 1 .....	31
Figure 12 - Scénario 1 – concentrations en 2027 (mg/L) – couche 2 .....	32

Figure 13 - Scénario 1 – concentrations en 2027 (mg/L) – couche 3.....	32
Figure 14 - Historique des teneurs en chlorures aux puits de Colmar .....	33
Figure 15 - Historique des teneurs en chlorures aux puits EBE .....	34
Figure 16 – Evolution au puits EBE F3 – scénario 2 .....	35

## Liste des tableaux

Tableau 1 – Modèle conceptuel des alluvions .....	12
Tableau 2 – Prélèvements des ouvrages des MDPa (1991-2004) .....	17
Tableau 3 – Traitement des terrils .....	19
Tableau 4 : Infiltrations sous les terrils en Tonnes de NaCl de 1995 à 2003 (source MDPa).....	20
Tableau 5 – Scénarios d'exploitation du modèle .....	27





# 1 Contexte

La pollution saline issue principalement des terrils des Mines de potasse d'Alsace (MDPA) affecte encore aujourd'hui près d'une centaine de km<sup>2</sup> de la nappe phréatique d'Alsace dans le département du Haut-Rhin<sup>1</sup>. Il existe notamment, en aval du bassin potassique, deux panaches d'eaux souterraines salées de plus de 20 kilomètres de longueur, connus sous les noms de "langue salée Est" et "langue salée Ouest", dont la propagation vers l'aval engendre des risques pour l'alimentation en eau potable (Figure 1).

Si la situation des tranches superficielles de l'aquifère montre une tendance générale à l'amélioration suite aux travaux de fixation et de dépollution des sources mises en œuvre par les MDPA avec le concours financier de l'Agence de l'eau Rhin-Meuse, des interrogations subsistent sur la salure des couches profondes de la nappe et sur son évolution future.

La réponse à de telles interrogations passe nécessairement par l'utilisation d'un modèle hydrodynamique permettant de simuler l'évolution de la salure tant en surface qu'en profondeur et d'évaluer l'impact de différents scénarios d'arrêt de pompes ou de mise en place de barrages de dépollution.

En 2001, le groupe de travail de la Commission interservices de surveillance des rejets des MDPA a demandé aux MDPA d'étudier un programme de résorption de la salure profonde en aval du bassin potassique. La demande de la Commission a été complétée par l'arrêté préfectoral 2003 10-8 du 10 janvier 2003 prescrivant aux MDPA dans son article 13 de remettre pour fin juin 2004 des conclusions sur l'évaluation de l'étendue et de l'impact de la pollution saline des eaux profondes imputable à l'activité des Mines de Potasse.

Un projet de modélisation a été lancé en 2003 par le BRGM avec le concours financier de la Région Alsace, de l'Agence de l'eau Rhin-Meuse et des MDPA, en prolongation d'un modèle multicouche prototype construit en 1998. Ce projet de modélisation plus fine de l'hydrodynamique et du transport des chlorures, destiné à apporter une aide à la décision aux acteurs du domaine, a été achevé en juin 2006.

Le présent rapport fait le point sur les connaissances acquises grâce à ces travaux de modélisation 2003 - 2006.

---

<sup>1</sup> Surface totale d'extension de la salinité supérieure à 250 mg/L en profondeur dans la nappe d'Alsace suivant le cubage réalisé par le BRGM d'après les données 2004 (Schomburgk et Elsass, 2006)

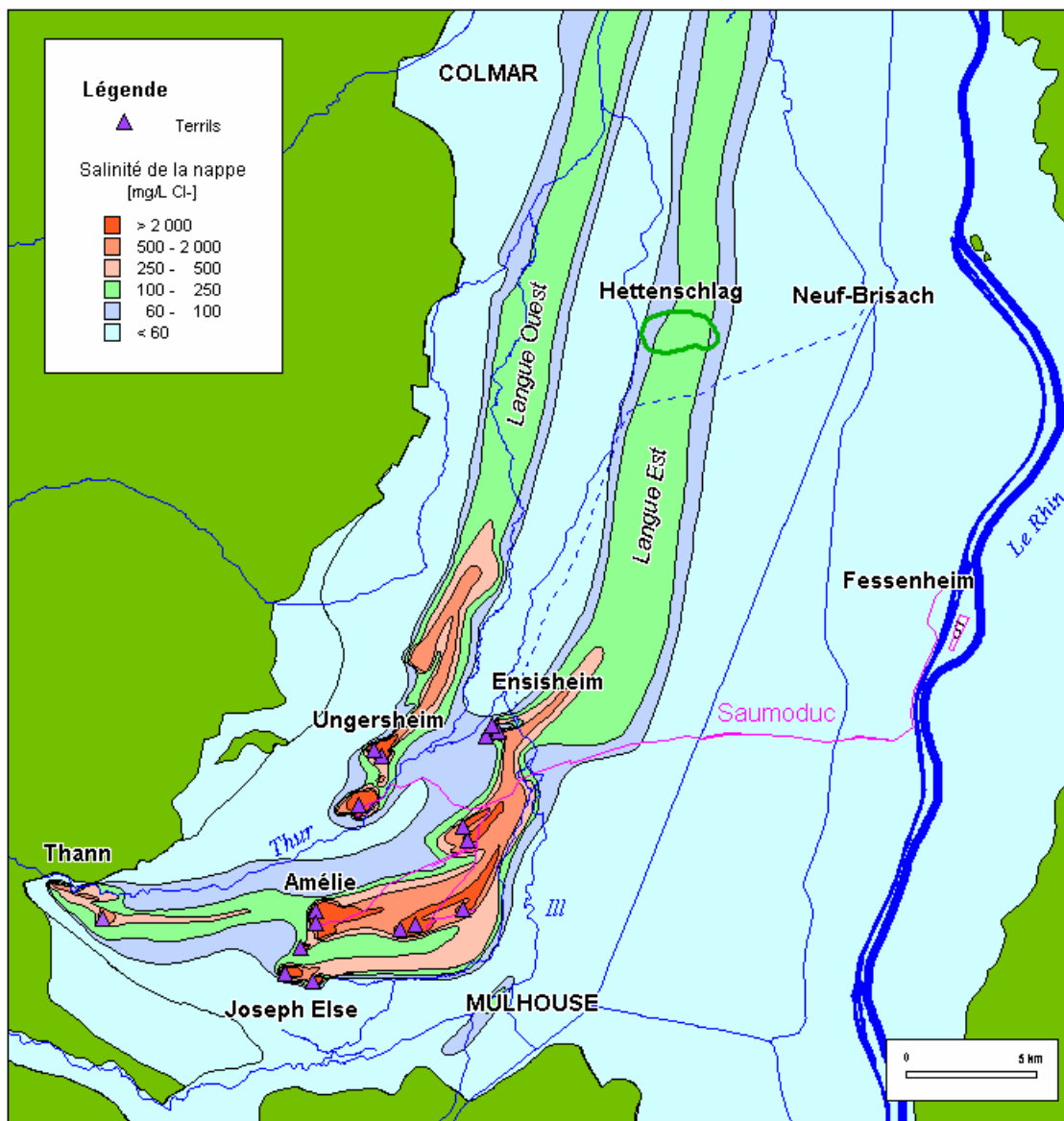


Figure 1 : Carte de la salure en 2005

## 2 Données d'entrée du modèle

### 2.1 GEOMETRIE DU MODELE

#### 2.1.1 Topographie

La base de la topographie a été reprise de la topographie du modèle précédent basée sur le modèle numérique de terrain (MNT) de l'IGN (Noyer *et al.*, 1998), corrigée dans le Bassin potassique d'après les levés topographiques des MDPA à jour à décembre 2003. Comme l'exploitation minière s'est arrêtée en septembre 2002 et que les affaissements résultant du foudroyage des tailles se propagent rapidement vers la surface et sont complètement stabilisés dans un délai de 2 à 3 ans, on peut considérer que la topographie des MDPA à décembre 2003 est la **topographie définitive du bassin minier**. Les derniers secteurs exploités à Reiningue se sont en effet stabilisés avec un affaissement maximal mesuré de 30 cm.

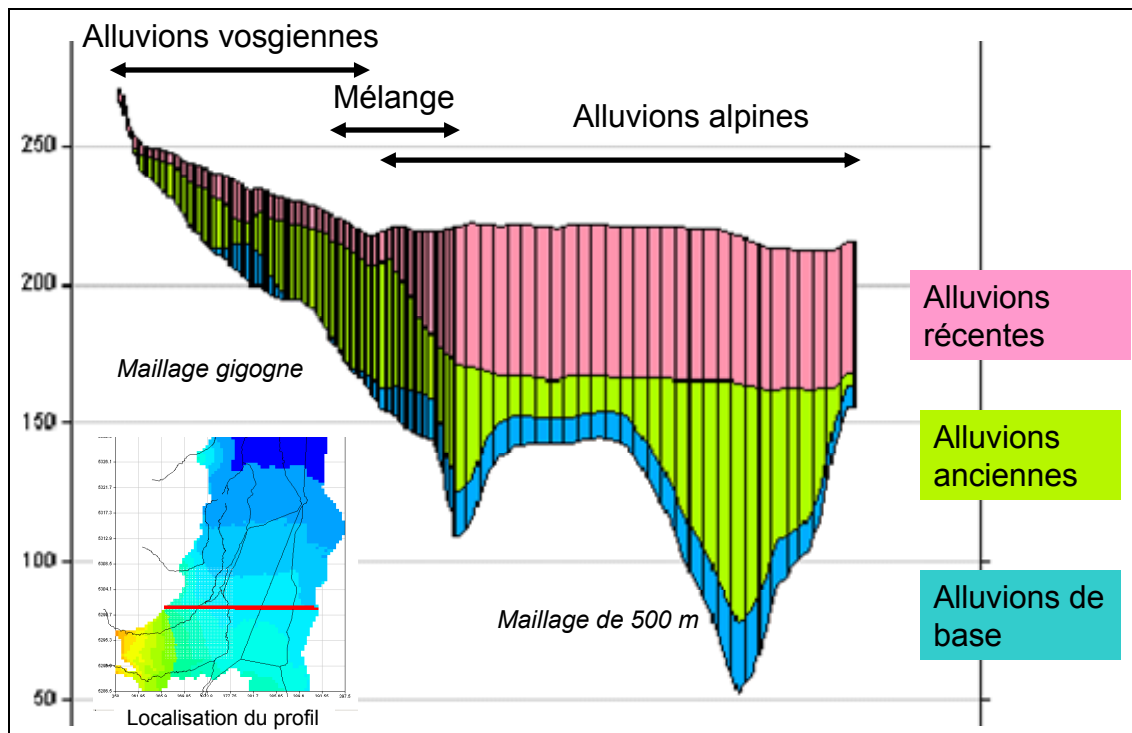


Figure 2 – Exemple de profil Ouest-Est à travers le modèle géométrique

## 2.1.2 Géologie

Du point de vue géologique, le secteur d'étude est caractérisé par l'immense cône de déjection des alluvions de la Thur à l'Ouest qui s'ouvre en éventail jusqu'à Mulhouse où il est rejoint par les alluvions de la Doller. L'épaisseur de ces alluvions vosgiennes déposées sur un substratum complexe entrecoupé de paléo-vallées, augmente d'Ouest en Est sans toutefois dépasser 40 m. Le domaine des alluvions rhénanes à matériel alpin, beaucoup plus épaisses (jusqu'à plus de 200 m), se situe à l'Est (Figure 2).

La distinction entre les domaines d'alluvions vosgiennes et alpines est fondamentale pour l'hydrogéologie car les alluvions rhénanes d'origine alpine sont bien roulées et bien classées avec peu de fines, et donc très perméables, tandis que les alluvions vosgiennes qui ont subi un transport plus court sont moins bien roulées et moins "propres" (c'est-à-dire plus argileuses et silteuses), et donc moins perméables.

Les alluvions ne sont pas homogènes, on peut y distinguer plusieurs séquences aux propriétés hydrodynamiques différentes. Le modèle conceptuel adopté diffère de celui du modèle précédent (Noyer *et al.*, 1998) par la prise en compte d'une séquence basale d'alluvions vosgiennes de sables grossiers à graviers voire à blocs, relativement perméables, parfois isolées sous un niveau argileux qui avait été confondu avec le substratum, et distingue trois couches d'alluvions (Figure 2).

Le modèle conceptuel est résumé dans le Tableau 1. Les épaisseurs des 3 couches ont été cartographiées par le géologue d'après les interprétations des données de forages. Les perméabilités des 3 couches ont été définies par l'hydrogéologue sous forme de zonages cartographiques à partir des résultats de pompages d'essai et d'une interprétation géologique. La différenciation entre alluvions vosgiennes et rhénanes est faite au niveau des perméabilités, les zones connues pour être très argileuses sont identifiées comme peu perméables.

Couche	Domaine vosgien	Domaine rhénan
Alluvions récentes	Graviers sableux perméables comprenant souvent deux séquences	Graviers très perméables, à séquences plus grossières à la base
Alluvions anciennes	Graviers altérés sableux à passages argileux, localement semi-perméables,	Graviers sableux et silteux moyennement perméables
Alluvions de base	Chenaux de sables grossiers à graviers ou blocs, moyennement perméables	Graviers argileux peu perméables

Tableau 1 – Modèle conceptuel des alluvions

### 2.1.3 Maillage du modèle

Le modèle hydrodynamique a été construit avec un maillage gigogne, des mailles carrées de 500 m de côté à l'extérieur du bassin potassique (calées sur le maillage du modèle régional déjà utilisé en 1998) et un maillage gigogne (emboîté) de 125 m de côté à l'intérieur du bassin potassique afin de pouvoir bien individualiser les influences des différentes sollicitations, notamment les prélèvements et les infiltrations des terrils (Figure 3).

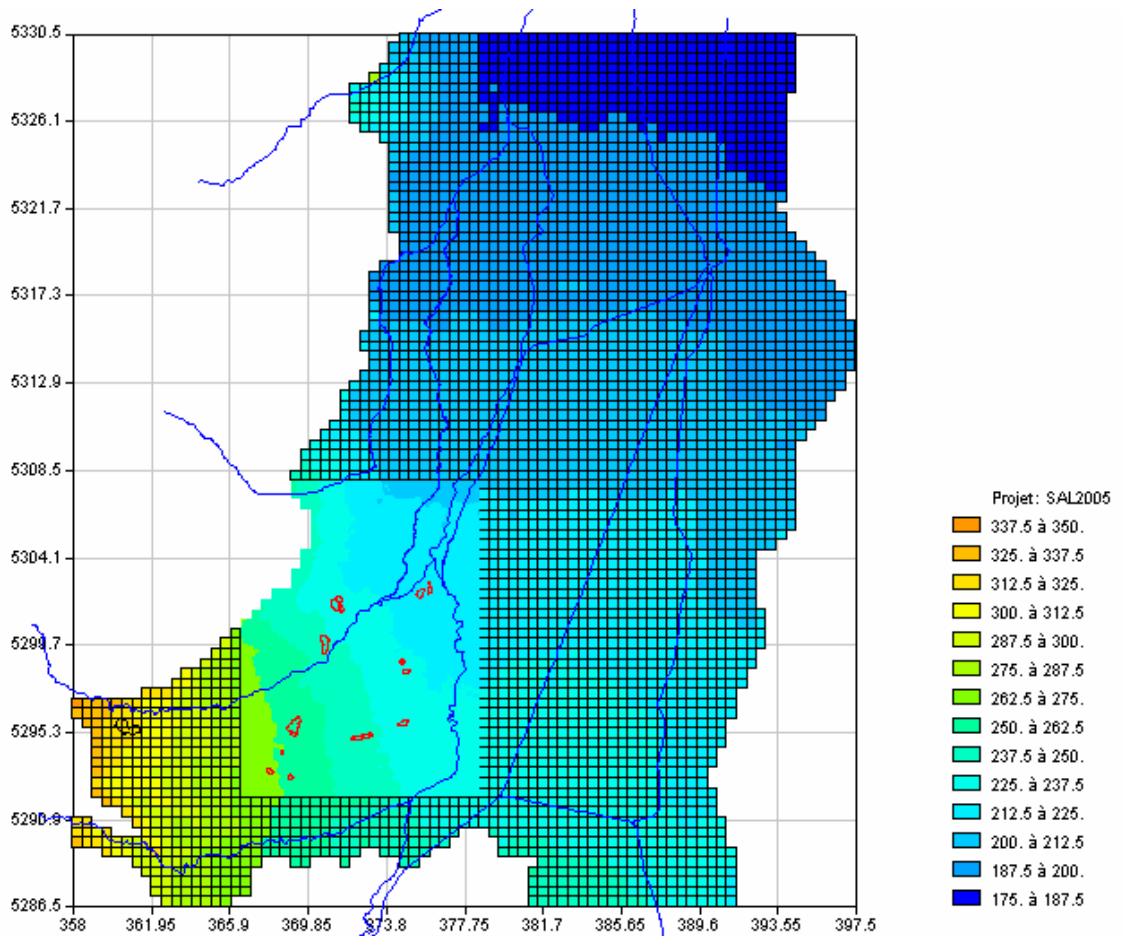


Figure 3 – Maillage sur fond de la topographie  
(les mailles gigognes trop serrées ne sont pas représentées)

## 2.2 DONNEES HYDRODYNAMIQUES

Les données hydrodynamiques nécessaires à la modélisation comprennent :

- les mesures du niveau de la nappe (piézométrie), qu'il s'agit de reproduire avec le modèle,
- la géométrie et les débits des cours d'eau qui s'infiltrent ou drainent la nappe (rivières, canaux et drains),
- la pluviométrie qui contribue à la recharge de la nappe,
- les prélèvements par pompage qui rabattent localement la nappe.

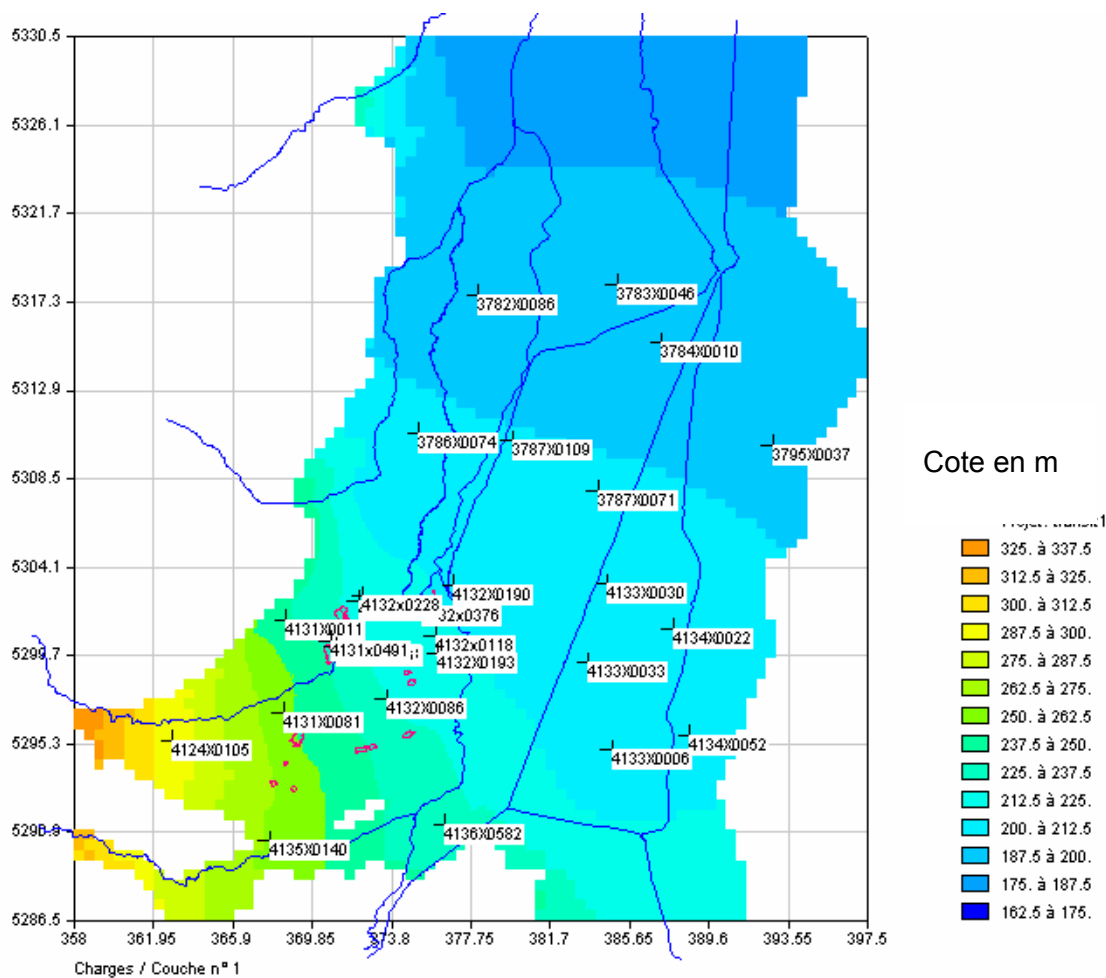


Figure 4 - Points de suivi de la piézométrie et carte de situation observée le 20 juin 2002

### 2.2.1 Chroniques de mesures piézométriques

Le calage en régime permanent a été effectué sur la situation des niveaux de nappe du 20 juin 2002 considérée comme une situation de moyennes eaux dans le bassin potassique. La carte correspondante a été établie à partir des mesures des réseaux APRONA et MDPA. Les chroniques de charge mesurée sur une vingtaine de piézomètres répartis dans l'emprise du modèle ont été utilisées pour caler le modèle en régime hydrodynamique transitoire de 1978 à 2004 (Figure 4).

### 2.2.2 Géométrie et débits des cours d'eau

Les études antérieures ont montré que la nappe d'Alsace est en interaction forte avec le réseau hydrographique (Rhin, rivières, canaux, drains). Les interactions dynamiques entre aquifère et réseau hydrographique doivent donc être soigneusement prises en compte dans la modélisation.

Les débits des cours d'eau sur 20 ans environ depuis 1975 sur 9 stations de jaugeage suivies par la DIREN ont été obtenues par interrogation de la banque HYDRO ; sur les 9 stations, 5 servent à caractériser les débits d'entrée des rivières dans le modèle, les 4 autres sont utilisées comme points de contrôle du calage.

Les débits moyens mensuels du Rhin à la station de Kembs (entrée du Rhin dans le modèle) ont été fournis par le Service de la Navigation de Strasbourg.

L'historique des débits d'alimentation du canal de la Hardt qui n'est mis en eau qu'en été a été collecté auprès de la DDAF. La réalimentation de l'Ill depuis 1997 a été également prise en compte d'après les informations obtenues auprès de la DIREN, la DDAF et le Conseil Général du Haut-Rhin.

La cartographie des drains (fossés de drainage qui permettent aux eaux souterraines de s'écouler si elles atteignent la surface) a été fournie par les MDPA. Les drains souterrains de Wittelsheim et Richwiller situés dans la zone d'affaissements miniers du Bassin Potassique et qui n'avaient pas été pris en compte dans les modélisations précédentes ont fait l'objet d'un traitement particulier :

- le drain de Wittelsheim a pu être digitalisé assez précisément d'après les documents d'exécution puis ses altitudes ont été corrigées d'après la topographie actuelle, ce qui a permis de constater qu'il était bien conçu puisqu'il coulait toujours dans le bon sens malgré les affaissements différentiels ;
- les données détaillées sur le drain de Richwiller n'ont pu être retrouvées ; cependant, on l'a individualisé au mieux et au même titre que le drain de Wittelsheim en lui attribuant une profondeur maximale de 3 mètres.
- le drain qui entoure le terribil Joseph Else Est depuis 1999 (un fossé de près de 6 mètres de profondeur) a également été pris en compte.



### 2.2.3 Données climatiques

Le secteur d'étude a été découpé en cinq zones climatiques. Les précipitations mensuelles ont pu être obtenues auprès de la climathèque de Météo-France et ont été complétées par interpolation lorsqu'il y avait des lacunes.

Le calcul de la recharge de la nappe par la pluie nécessite d'évaluer la part d'eau de pluie infiltrée et évaporée ou consommée par les plantes. Dans cette étude, on a choisi de calculer les évapotranspirations potentielles (ETP) à l'aide de la formule de Turc au pas de temps mensuel à partir de la latitude de la station et de séries complètes de durée d'insolation et de température de l'air.

Les travaux antérieurs (Noyer et al., 1998) ayant montré que les valeurs d'ETP varient très peu sur la zone d'étude, on a considéré que l'on pouvait utiliser une série unique pour le domaine d'étude, calculée à partir des paramètres mesurés à la station de Meyenheim.

### 2.2.4 Prélèvements par pompage

Les données de prélèvements de 1975 à 2004 ont été collectées sous la forme de cumuls annuels (1000 m<sup>3</sup> /an) en chaque ouvrage. Les prélèvements des ouvrages AEP et AEI ont été obtenus auprès de l'Agence de l'eau Rhin-Meuse, et ont dû être attribués aux ouvrages correspondants connus en BSS. Des compléments d'information ont été demandés aux gestionnaires de champs captants comme EBE.

Les données des ouvrages gérés par les MDPA ont été fournies par les MDPA, avec une précision remarquable pour une étude de ce genre. Un extrait en est donné à titre d'exemple dans le Tableau 2 pour la langue Est. Les prélèvements destinés à l'irrigation, plus mal connus, ont été négligés.

## 2.3 Données pour le transport de la salure

Les données nécessaires à la modélisation du transport de la salure comprennent :

- les mesures des concentrations en chlorures dans la nappe, qu'il s'agit de reproduire avec le modèle,
- les mesures des concentrations en chlorures des cours d'eau s'infiltrant dans la nappe,
- des données sur les sources de chlorures, en particulier les terrils (superficie, historique des traitements et des infiltrations, évolution programmée),
- les quantités de chlorures extraites par pompage qui servent de contrôle des résultats des simulations des pompages (en effet seul le volume pompé est imposé dans le modèle, la concentration en chlorures des eaux pompées est un résultat de calcul).

Indice	Dénomination	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
04132X0074	Ruelisheim	746.2	702.3	875.4	1628	842.3	832.3	0	742	802	763	595	702	1190	1334
04132X0075	Ruelisheim	0	0	0	0	784.9	633.6	0	590	636	626	577	590	848	963
04132X0115	Ensisheim A et B	1653	1183	838	1772	1299	982	2000	1800	1720	1705	2361	2549	1000	0
04132X0230	Ensisheim 1	1746	1535	1114	2303	1554	1565	1381	1095	1858	1430	1833	2606	2412	3009
04132X0231	Ensisheim 2	1083	1365	1734	2364	3169	1275	1310	1067	1821	625	1528	2550	2667	1960
04132X0232	Ensisheim 3	1770	932	1251	1082	1156	1115	1250	1045	1634	1749	1495	1694	2467	2661
04132X0233	Ensisheim 4	1721	1766	1663	1577	1700	1499	1455	1143	1900	1546	2097	2493	2750	2229
04132X0234	Ensisheim 5	2061	3068	2321	5222	1709	1535	2000	1500	2411	2634	2723	2192	1000	0
04132X0235	Ensisheim 6	1311	1848	1484	2465	2050	1542	2000	500	0	0	0	0	0	0
04132X0239	Ensisheim A et B	1653	1183	838	1772	1299	982	1136	1143	1096	0	1434	2131	2000	0
04132X0245	Ensisheim 7	614	1237	1293	1100	1493	1564	2000	2000	0	0	1310	0	0	0
04132X0291	puits fixation	1138	1181	1067	1597	1792	1876	1657	1992	1973	0	2287	2359	2167	2372
04132X0302	puits fixation	0	0	0	130.9	136.9	146.6	108	139	156	0	173	195	161	198
04132X0303	puits fixation	0	0	0	383.4	345.4	318.2	311	340	352	0	362	416	356	467
04132X0330	puits fixation	0	0	0	0	0	86.96	225	214	268	0	266	265	234	282
04132X0331	puits fixation	0	0	0	0	0	251.6	641	719	687	0	927	1023	804	620
04132X0383	Ensisheim Sud	0	0	0	0	0	0	0	0	0	113	1073	1061	1000	915
04132X0393	Ensisheim Sud	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75	860	811	853
04132X0395	Ensisheim Sud	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	134	350	216	275
04132X0397	Ensisheim Sud	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1117	1300	1385
04132X0398	Ensisheim Sud	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	338	348	353
04132X0399	Anna 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	159	674	654	670
04132X0419	Anna 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	134	500	553
04132X0424	Drain Théodore	0	0	0	0	0	0	0	0	418	400	526	468	286	0
04135X0212	VJ1 ZP 085	339	249	259	336	383	298	0	283	334	0	636	380	315	314
04135X0213	VJ2 ZP 083	707	693	564	711	632	403	0	333	421	0	401	423	413	416
04135X0240	Gravière Michel	665	313	22	284	87	107	43	0	0	0	0	0	0	0
04135X0404	Drain Joseph-Else Est	0	0	0	0	0	0	0	0	272	300	472	620	285	0

Tableau 2 – Extrait des données de prélèvements des ouvrages des MDPA  
Langue Est, 1991-2004, en milliers de m<sup>3</sup> par an (source MDPA)

### 2.3.1 Concentrations en chlorures dans la nappe

Le BRGM grâce à son Service Régional Alsace assure le contrôle et le suivi de la contamination de la nappe par la salure et édite à ce titre des rapports annuels. Pour ces rapports, il établit les cartes de situation annuelles de la salure à partir des relevés aux différents points de mesure et dispose donc d'une partie des données nécessaires à la modélisation du transport, soit essentiellement les valeurs de concentration en chlorures en différents points de la nappe et du réseau hydrographique.

La potasse est exploitée depuis le début du siècle dans le Bassin Potassique situé dans la partie sud-ouest de la zone d'étude ; les sous-produits d'exploitation sont constitués par des stériles et du chlorure de sodium, déposés en terrils sur les alluvions perméables ou rejetés en rivières (Thur et Vieille-Thur) jusqu'en 1975 ; à partir de cette date, les saumures sont rejetées exclusivement dans le saumoduc créé en 1934 pour évacuer le sel vers le Rhin à hauteur de Fessenheim.

La pollution provoquée par la dissolution du sel des terrils par la pluie se traduit par deux langues salées distinctes dont la configuration est la suivante depuis le début des années 1990 : la langue Est (issue principalement des terrils Joseph Else, Amélie, Anna, Fernand) est d'abord orientée ouest - est puis présente une variation d'azimut

rapide vers le nord - nord-est, parallèle à la langue Ouest issue des terrils Marie-Louise, Alex et Rodolphe (cf. Figure 1).

### 2.3.2 Sources de chlorures modélisées

La source initiale de la contamination saline est donc essentiellement constituée par les terrils des MDPA qui ont été alimentés par des dépôts de résidus salés jusqu'à la fin des années 50 et de résidus insolubles peu salés ensuite. L'origine de la salure de l'aquifère, pour sa part, résulte des processus de dissolution du sel des terrils par la pluie, depuis le début de l'exploitation de la potasse d'Alsace. Ces caractéristiques de l'origine superficielle de la salure conduisent à distinguer deux zones d'intérêt quant à la modélisation du réservoir et à l'analyse des données expérimentales :

- le domaine du Bassin Potassique, qui inclut les terrils et les processus d'infiltration, avec des concentrations locales maximales ;
- le domaine des langues aval dans lequel se manifestent principalement des mécanismes de transfert et de dispersion liés à l'hétérogénéité du champ de vitesse. Dans ce domaine, hors des sources principales d'apport, les concentrations en chlorures sont nettement plus faibles. Les seules sources de salure secondaires présentes, de plus faible amplitude, sont constituées par l'infiltration due aux échanges nappe-rivières.

Au sein du Bassin Potassique, les quinze terrils principaux constituant les sources superficielles de contamination s'organisent en sept secteurs :

- Alex et Rodolphe ;
- Marie-Louise ;
- Amélie I, II et nord ;
- Joseph Else est et ouest ;
- Anna et Fernand ;
- Théodore et Eugène ;
- Ensisheim nord, est et ouest.

Aujourd'hui tous ces terrils sont soit traités soit en cours de traitement, les plus salés font l'objet d'une dissolution accélérée avec collecte des eaux salées par un fossé de ceinture et les puits de fixation, les moins salés sont équipés d'une couverture étanche végétalisée voire simplement végétalisés (cf. Tableau 3).

Dénomination du terril	Date d'édification	Date d'arrêt des dépôts	Date de fin du traitement	Type de traitement
ALEX bassin à boues	1923	1963		Non traité
ALEX Terril ancien	1913	1933	1994	Dissolution accélérée
ALEX Terril mixte	1913	1969	2000	Dissolution accélérée
RODOLPHE	1930	1976	2002	Dissolution accélérée partielle Etanchement -Végétalisation
MARIE-LOUISE	1920	1999	prévu 2008	Dissolution accélérée partielle
AMELIE Nord	1924	2002	prévu 2009	Dissolution accélérée partielle
AMELIE Est	1913	1929	2003	Transféré sur Amélie Nord
AMELIE II	1913	1953	1998	Etanchement-végétalisation
JOSEPH-ELSE Ouest	1912	1969	2003-2004	Etanchement-végétalisation
JOSEPH-ELSE Est	1959	1969	2005	Dissolution accélérée
ANNA	1923	1974	prévu 2007	Dissolution accélérée
FERNAND	1913	1968	2006	Dissolution accélérée
EUGENE	1960	1986	2004	Etanchement-végétalisation
THEODORE	1913	1959	2002	Dissolution accélérée
ENSISHEIM Ouest	1920	1975	2000	Etanchement-végétalisation
ENSISHEIM bassin à boues	1932	1964		Non traité
ENSISHEIM Est	1923	1932	2001	Dissolution accélérée
ENSISHEIM Nord	1926	1961	2000	Végétalisation

Tableau 3 – Traitement des terrils

Pour compléter le recensement des sources connues de salure, il convient d'ajouter une dernière composante de plus faible amplitude localisée en amont du Bassin Potassique (sud-ouest du domaine modélisé). Au débouché de la vallée de la Thur, la nappe est contaminée par les terrils industriels de l'Ochsenfeld. Les sous-produits des processus industriels engendrent, entre autres éléments, des concentrations excessives en chlorures. Les dispositifs de dépollution, mis en place en 1974, limitent l'impact à une langue étroite (200 mg Cl/L) qui vient rejoindre la pollution issue des terrils du Bassin Potassique. Cette pollution devrait cesser à partir de 2005 suite à la mise en place d'une paroi étanche.

Toutes ces sources de salure connues et prise en compte dans la modélisation sont des sources anthropiques bien identifiées. **Il n'est pas exclu qu'il existe aussi des sources naturelles** telles que des remontées de saumure par des failles ou des phénomènes de dissolution de diapirs de sel, mais elles n'ont pas été clairement identifiées pour l'instant. L'hypothèse d'une source de salure naturelle entre Raedersheim et Ungersheim a été explorée dans un des scénarios d'exploitation du modèle.

### 2.3.3 Infiltrations sur les terrils

Les données d'infiltration sur les terrils pour la période de calage soit 1991-2004 ont été fournies par les MDPAs ainsi que la superficie de ces terrils (cf. Tableau 4). Les données d'infiltration des terrils sont estimées par les MDPAs sur la base de l'étude dite Graillat (Graillat et Brunck, 1980) et ajustées au fur et à mesure des observations faites au cours des travaux sur les terrils et suivant l'évolution de leur surface d'emprise au cours de leur réaménagement. Les tableaux sont présentés annuellement à la Commission interservices de contrôle des rejets des MDPAs qui les valide.

Les terrils étanchés sont supposés donner lieu à une infiltration nulle au bout de deux années, temps estimé pour que le ressuyage du terril soit achevé. Il est important de noter ici que **les infiltrations des terrils en cours de dissolution accélérée sont par convention les mêmes que si le terril restait à la pluie**, en raison de la reprise des eaux infiltrées par le relevage du fossé de ceinture et par les puits de fixation et de la difficulté d'estimer la part réellement infiltrée. Cette convention, nous le verrons, sera la cause de quelques difficultés dans la modélisation.

Terril	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
ALEX bassin à boues									
ALEX Terril mixte	7200	7200	7200	7200	7200	4000	0	0	0
ALEX Terril ancien									
RODOLPHE	2300	2300	2300	2400	2300	2400	2400	1600	200
MARIE-LOUISE	20600	24700	22000	17800	16600	16000	16000	16000	15000
AMELIE Nord	13800	23200	21700	19800	14000	15000	14300	13500	10000
AMELIE Est	5300	5300	5300	5300	5300	5300	5300	5300	3200
AMELIE II	2500	2500	2500	1500	200	200	100	0	0
JOSEPH-ELSE Est	5000	3100	3100	3100	3100	3100	3100	3100	3100
JOSEPH-ELSE Ouest	9500	9500	9500	9500	9500	9500	9500	9500	6500
ANNA	7900	7900	7900	7900	7900	7900	7900	7900	7900
FERNAND	10500	5000	5000	5000	5000	5000	5000	2000	1500
EUGENE	5600	5600	5600	5600	5600	5600	5600	5600	5600
THEODORE	6800	6800	6800	6800	6800	6800	3000	600	0
ENSISHEIM Est	8500	5400	3600	600	600	600	0	0	0
ENSISHEIM Nord	1400	1400	1400	1400	1400	800	600	0	0
ENSISHEIM Ouest	3100	3100	3100	2500	2000	800	200	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>110000</b>	<b>113000</b>	<b>107000</b>	<b>96400</b>	<b>87500</b>	<b>83000</b>	<b>73000</b>	<b>65100</b>	<b>53000</b>

Tableau 4 : Infiltrations sous les terrils en Tonnes de NaCl de 1995 à 2003 (source MDPAs)

## 3 Calage du modèle

### 3.1 LES PHASES DU CALAGE

Le calage du modèle a été réalisé en 3 étapes successives de complexité croissante :

- calage du modèle hydrodynamique en régime permanent sur la piézométrie « moyenne » de juin 2002 ; il permet d'obtenir une première estimation d'une partie des paramètres, perméabilités et coefficients d'échange nappe-rivières,
- calage en régime transitoire qui permet de prendre en compte l'inertie du système aquifère par le biais des coefficients d'emménagement, sur la période 1978-2004 pour laquelle on dispose de chroniques piézométriques, de débits aux stations de jaugeage, de données hydro-climatiques et des fluctuations annuelles des prélèvements.
- Le calage du transport fait intervenir, en plus des paramètres liés à l'hydrodynamique transitoire, les paramètres liés aux sources de pollution (caractéristiques géométriques des terrils, historique des infiltrations sous les terrils et des teneurs en chlorures des rivières). On procède à partir d'une situation de salinité initiale "observée" : c'est la situation de 1991 qui a été choisie en raison de la disponibilité de données complémentaires issues de l'inventaire général de la qualité de la nappe de 1991 de la Région Alsace (Gaildraud et Gobillon, 1993).

#### 3.1.1 Calage de l'hydrodynamique en régime permanent

Le calage en régime permanent est une étape préliminaire au véritable calage qui ne peut se faire qu'en régime transitoire. Il permet cependant de vérifier la validité du zonage des perméabilités proposé par l'hydrogéologue et de la recharge par la pluie, ainsi que de tester différentes hypothèses sur les conditions aux limites, paramètres des rivières et trajectoires.

Cette étape est réalisée par itérations successives de calage automatique des perméabilités par zones, d'examen des cartes piézométriques simulées, des champs de vitesse et des trajectoires à partir des terrils, puis d'ajustement du coefficient d'anisotropie verticale et de redéfinition des zones de perméabilités.

La carte de la piézométrie simulée avec les isovaleurs observées et simulées pour la situation de ME de juin 2002 montre que le calage est globalement satisfaisant quoique un peu moins bon dans certains secteurs du Bassin Potassique (Figure 5).

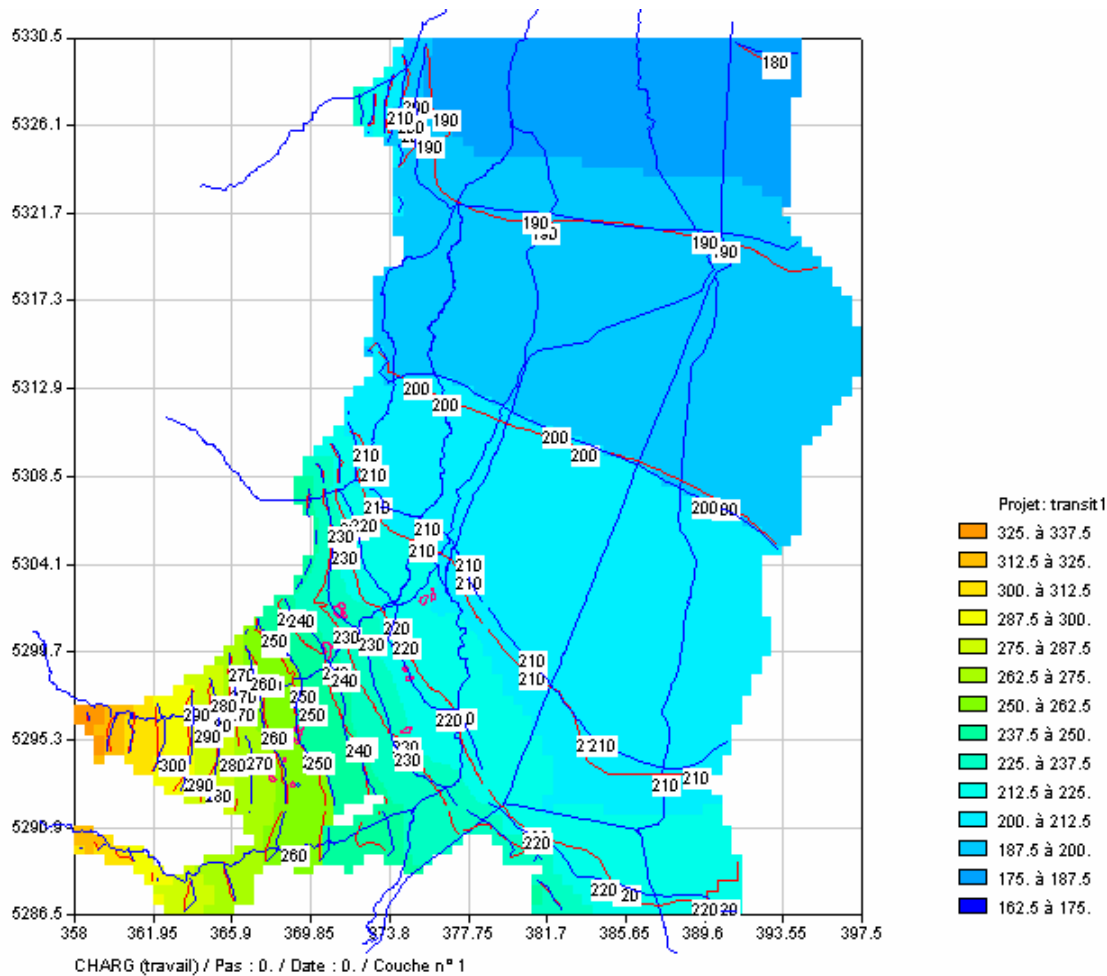


Figure 5 – Charges simulées en régime permanent (en m) avec isovaleurs simulées (en bleu) et observées (en rouge)

### 3.1.2 Calage de l'hydrodynamique en régime transitoire

Le calage en régime transitoire permet d'obtenir le champ des coefficients d'emmagasinement libre et captif. Si la perméabilité caractérise la capacité du milieu poreux saturé à favoriser l'écoulement, le coefficient d'emmagasinement caractérise sa capacité à stocker et à restituer l'eau.

Pour ce faire, on utilise les longues séries de données décrites au chapitre 2 :

- les variations des débits amont des cours d'eau ;
- pour les canaux, on a gardé constante la valeur calée sur la situation de ME, en régime permanent sauf pour le canal de la Hardt dont on a pris en compte les fluctuations à partir du moment où elles ont été connues ;

- les variations mensuelles de la pluie et de l'ETP pour chacune des six zones hydrologiques et des variations annuelles des prélèvements divers soit AEP, AEI, puits de fixation/dépollution du Bassin Potassique.

Comme données de contrôle, on a utilisé les évolutions de débit des rivières Thur et Ill aux cinq stations de jaugeage situées dans le modèle ainsi que les historiques de charge sur une vingtaine de piézomètres (cf. Figure 4). Le calage a été réalisé au pas de temps mensuel entre janvier 1978 et décembre 2004 soit sur 27 ans, à partir de la situation de ME obtenue lors du calage en régime permanent.

### 3.1.3 Calage du transport de masse en régime transitoire

Au cours de cette phase, on s'efforce d'obtenir la meilleure estimation possible des vitesses de transport et des paramètres de dispersion ce qui passe donc par une amélioration du calage des porosités mais aussi éventuellement un affinage des autres paramètres, en particulier des perméabilités qui permettent de calculer les vitesses de Darcy dont dépendent les vitesses réelles.

Pour ce faire, on cherche à reproduire deux types de données observées :

- les cartes de concentration en chlorures établies pour 2004, en fin de période de calage ;
- les évolutions sur 19 piézomètres comportant un ou plusieurs niveaux crépinés et répartis dans le Bassin Potassique et les langues Est et Ouest et sur 17 puits de fixation ou dépollution situés en aval des terrils.

Lors du montage du projet, il avait été envisagé de prendre en compte dans ce calcul les effets densitaires. Les premiers tests ont montré que l'effet densitaire n'intervenait qu'au voisinage immédiat des terrils, et que le transport isodensitaire sous l'effet du gradient de pression seul était prépondérant à l'aval.

Aussi, afin de ne pas compliquer inutilement les calculs déjà lourds, la décision a été prise de simuler l'effet densitaire sous les terrils en répartissant l'infiltration dans les 3 couches du modèle. Cette répartition est calée sur les teneurs observées dans les puits de fixation à l'aval des terrils et sur les cartes observées en 2004 dans chaque couche.

Les concentrations en chlorures simulées pour la partie aval du Bassin potassique sont globalement dans les mêmes classes de teneur que les concentrations observées. Pour les puits de fixation en aval immédiat des terrils, les résultats sont plus contrastés.

Les puits de fixation en aval d'Amélie, de Joseph Else-Ouest, d'Ensisheim, de Fernand, Théodore et Eugène sont bien simulés, à part les pics observés pendant les opérations de dissolution qui ne peuvent pas être reproduits par le modèle, car la dissolution accélérée n'est pas spécifiquement prise en compte.

Les teneurs simulées aux puits de fixation Aire de stockage, Rodolphe, Alex et Ungersheim sont un peu faibles pour la même raison.



En aval de Marie-Louise et de Joseph Else-Est, les teneurs simulées sont sous-estimées : on peut suspecter que cela est dû aux effets densitaires non pris en compte.

### 3.1.4 Cartes de concentration observées et simulées en 2004

La carte de concentration obtenue pour la couche 1 du modèle (la couche superficielle, la mieux connue), par simulation du transport des chlorures de 1991 à 2004, est présentée à côté de la carte observée en Figure 6.

Ces cartes appellent les observations suivantes :

Langue Ouest	Teneurs bien simulées ; la branche ouest de la langue n'est pas simulée en l'absence d'une autre source de salure
Terrils Marie-Louise et Alex-Rodolphe	Les teneurs apparaissent trop fortes en aval (puits de fixation sous-estimés)
Langue Est	Teneurs bien simulées mais étalement excessif de la langue vers l'Est
Terrils Ensisheim	La simulation montre un effet de dilution par les infiltrations de l'III qui est probablement plus exact que la carte "observée"
Terrils Théodore et Eugène	Impact de Théodore plus faible car la dissolution accélérée n'est pas simulée
Terrils Amélie, Anna et Fernand	Simulation très bonne
Terrils et langue Joseph Else	Impact des terrils beaucoup trop fort : mauvaise simulation de la fixation

On observe un bon accord global du simulé à l'observé, en dehors du voisinage de certains terrils où les concentrations élevées observées sous les terrils sont sous-estimées et la fixation n'est pas bien reproduite. Les teneurs en aval de ces terrils apparaissent en conséquence comme surestimées : le modèle est pessimiste en ce qui concerne les langues en aval de ces terrils. Ces défauts peuvent être imputés soit à la non prise en compte de la dissolution accélérée dans le modèle soit à la non prise en compte des effets densitaires sous les terrils.

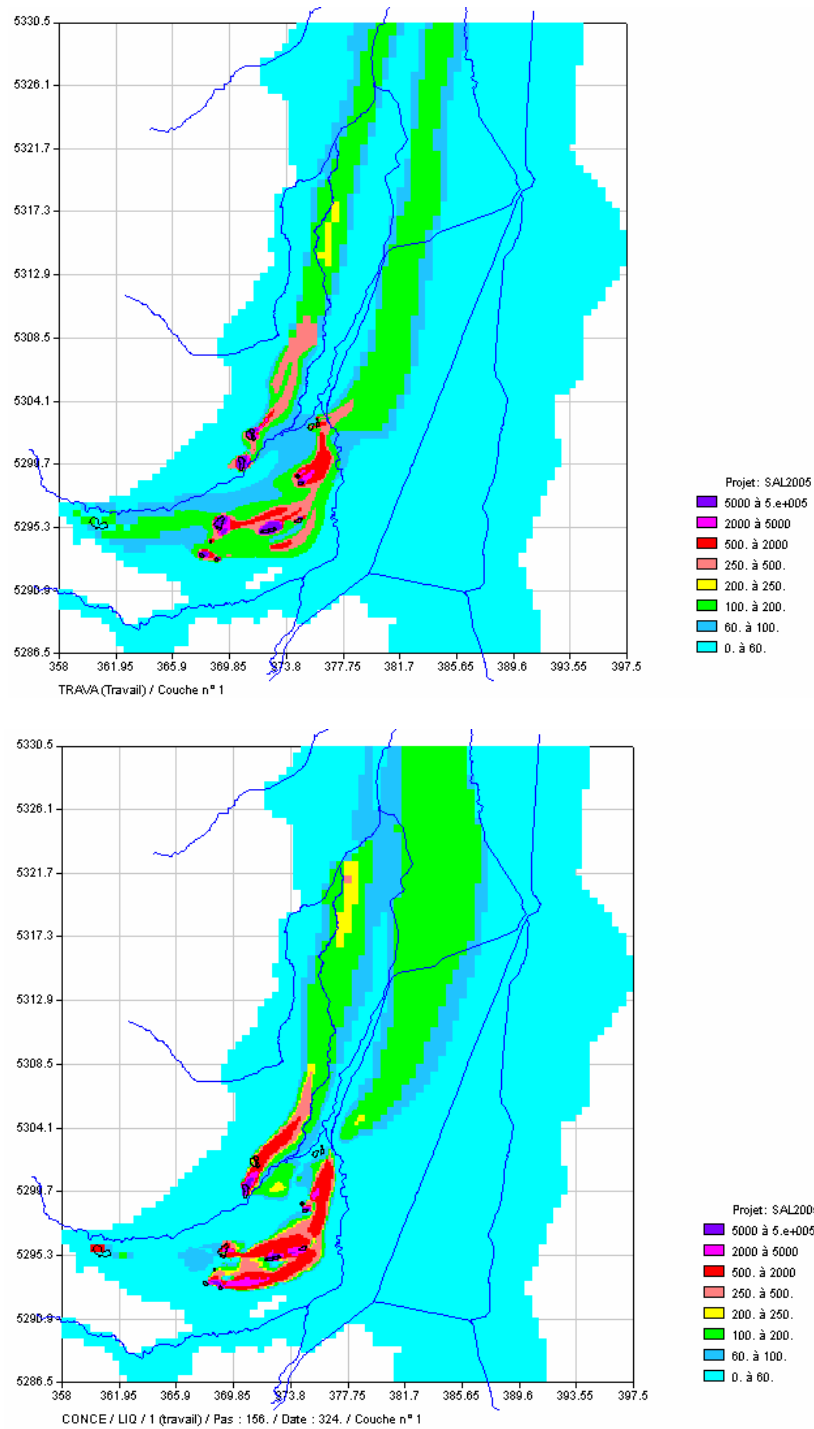


Figure 6 – Cartes de concentrations observées (en haut) et simulées (en bas) en 2004 (mg/L) couche 1



## 4 Scénarios d'exploitation

Suite au calage du modèle, différentes simulations de l'évolution de la salure dans le futur ont été réalisées à la demande du Comité de Pilotage. Les scénarios d'exploitation de ces simulations sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Scénario	Période 1991-2004	Période 2004-2014	Période 2015-2027
Scénario tendanciel		<i>Prévisions d'arrêt successif des pompages par les MDPA</i>	<i>Tous les pompages de fixation/dépollution sont à l'arrêt</i>
Scénario 1		<i>Les pompages de fixation/dépollution sont maintenus au régime 2005-2006</i>	<i>Les pompages de fixation/dépollution à moins de 250 mg/L en 2014 sont à l'arrêt</i>
Scénarios 1 bis et 1 ter		<i>Comme scénario 1 avec différentes hypothèses sur le fonctionnement des puits EBE</i>	
Scénario 2	<i>Source supplémentaire entre Ungersheim et Raedersheim</i>		

Tableau 5 – Scénarios d'exploitation du modèle

### 4.1 SCENARIO TENDANCIEL

#### 4.1.1 Définition du scénario

Ce scénario prévisionnel correspond aux hypothèses suivantes :

- répétition des données des cycles hydroclimatiques de 1991 à 2000 ;
- valeurs 2004 des concentrations des rivières conservées ;
- arrêt de l'infiltration sous le terriil de l'Ochsenfeld à partir de 2005 ;
- prélèvements par pompage et infiltrations des terrils de 2004 à 2014 selon les prévisions actuelles des MDPA ; ces prévisions supposent qu'en 2014 tous les terrils auront été traités et qu'il n'y aura plus d'infiltration de ces sources.

#### 4.1.2 Cartes simulées en 2014

Les cartes simulées à l'échéance 2014 pour les trois couches du modèle sont présentées dans les figures ci-après.

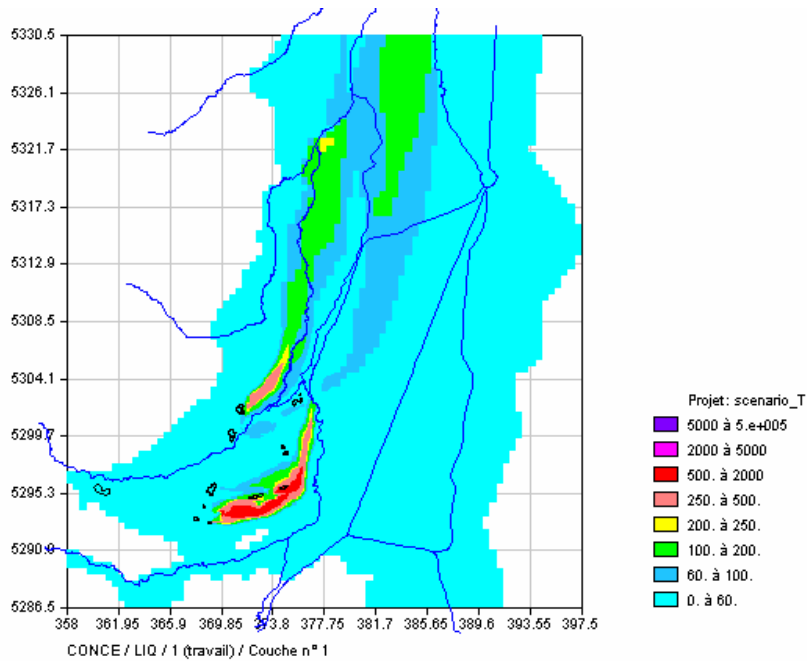


Figure 7 – Scénario tendanciel – concentrations en 2014 (mg/L) – couche 1

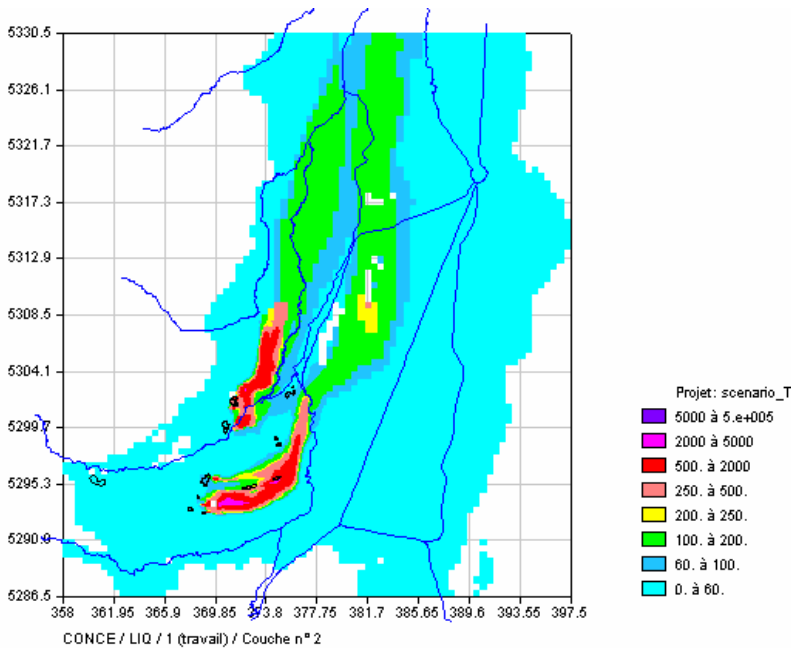


Figure 8 - Scénario tendanciel – concentrations en 2014 (mg/L) – couche 2

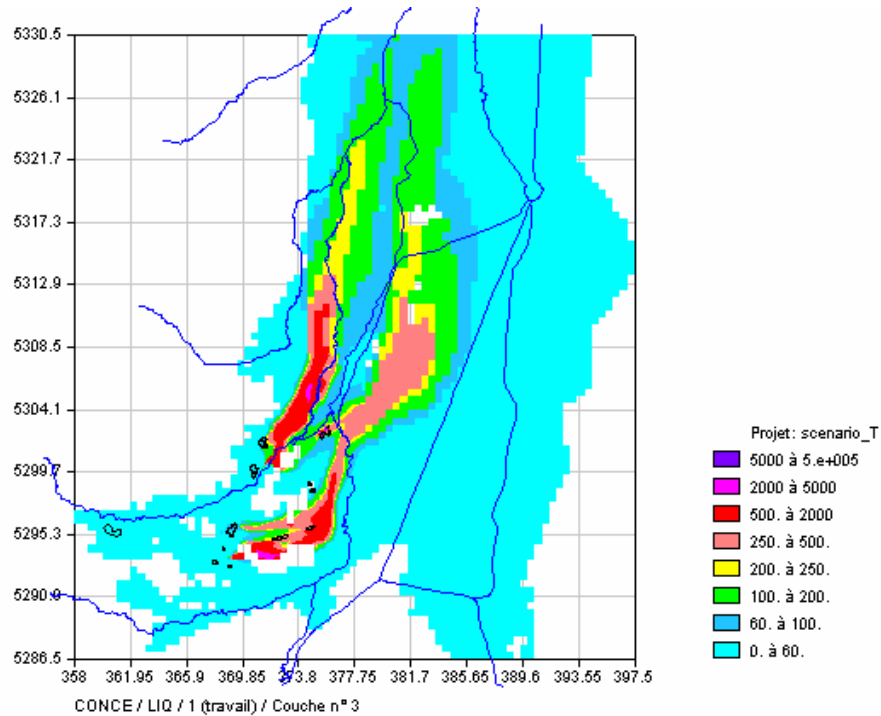


Figure 9 - Scénario tendanciel – concentrations en 2014 (mg/L) – couche 3

### 4.1.3 Résultats

Les cartes simulées en fonction du scénario tendanciel montrent qu'en 2014 les langues salées aval devraient être passées sous la barre des 250 mg/L sauf à grande profondeur. Il subsisterait par contre des teneurs supérieures à la CMA<sup>2</sup> dans le Bassin potassique en surface et surtout en profondeur.

## 4.2 SCENARIO 1

### 4.2.1 Différences entre scénario 1 et scénario tendanciel

Ce scénario prévisionnel noté 1 correspond aux hypothèses suivantes :

- répétition des données des cycles hydroclimatiques de 1991 à 2000 ;
- valeurs 2004 des concentrations des rivières conservées ;
- arrêt de l'infiltration sous le terriil de l'Ochsenfeld à partir de 2005 ;

<sup>2</sup> CMA : Concentration maximale admissible pour les eaux potables. Elle est passée de 200 à 250 mg/L pour les chlorures en France depuis 2001 afin de s'aligner sur les normes européennes.

- **prélèvements de 2006 conservés** pour les puits de fixation/dépollution ; en 2014, on arrête les puits de fixation/dépollution dont la teneur est descendue en dessous de la CMA et on reprend la simulation jusqu'en 2027 ;
- infiltrations des terrils de 2004 à 2014 selon scénario MDPA.

Le scénario 1 est ainsi destiné à examiner si les hypothèses de fonctionnement des pompages émises par les MDPA sont vraisemblables. Les résultats montrent que les différences avec le scénario tendanciel sont faibles et limitées au voisinage des terrils (Figure 10).

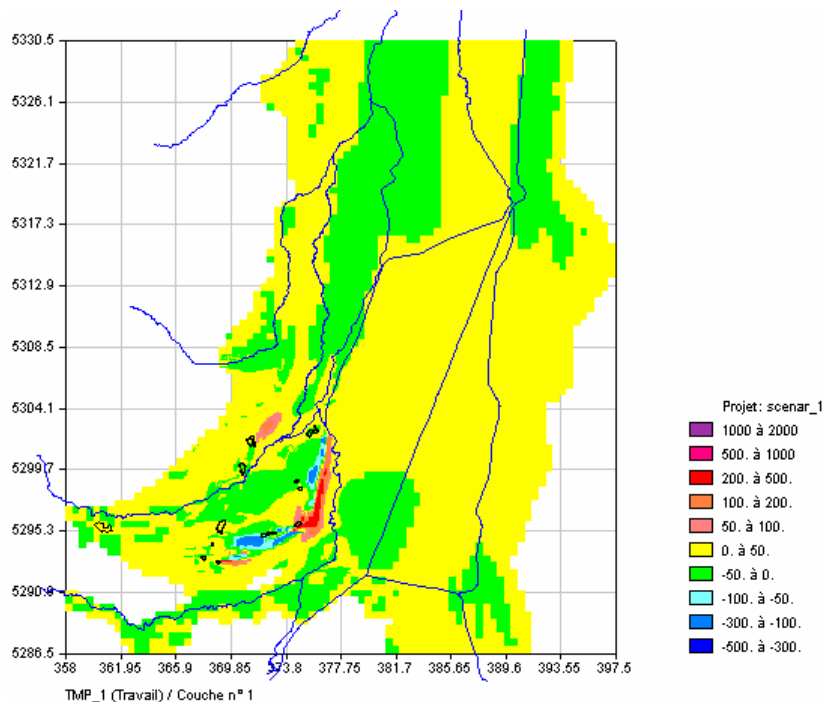


Figure 10 – Ecart en mg/L entre concentrations en 2014 calculées avec le scénario tendanciel et avec le scénario 1 (couche 1)

La différence la plus significative apparaît dans l'extrémité aval de la langue salée issue du bassin potassique jusqu'à Ensisheim. On en conclut qu'il serait probablement utile de conserver les puits des barrages hydrauliques au Sud d'Ensisheim en fonctionnement plus longtemps que prévu actuellement par les MDPA dans le scénario tendanciel.

#### 4.2.2 Cartes simulées en 2027

Le scénario 1 est prolongé jusqu'en 2027, dernière échéance prévue par la Directive cadre sur l'eau. Les cartes résultantes pour les trois couches du modèle sont présentées ci-après.

En 2027, la couche 1 est pratiquement totalement nettoyée. Pour ce qui est de la couche 2, seule la langue Est est totalement nettoyée en 2027. En couche 3, il ne reste qu'une toute petite zone à teneur atteignant les 250 mg/L dans la langue Est. La langue Ouest se nettoie beaucoup plus lentement du fait de plus faibles perméabilités en couches 2 et 3 : il subsiste en particulier à l'aval des terrils Alex et Marie-Louise des teneurs jusqu'à 2 g/L.

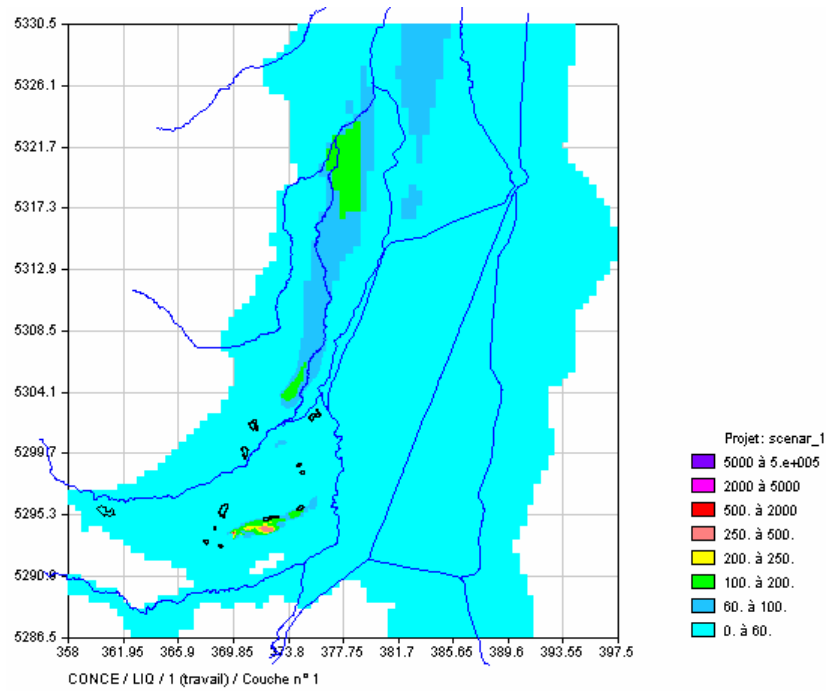


Figure 11 – Scénario 1 – concentrations en 2027 (mg/L) – couche 1



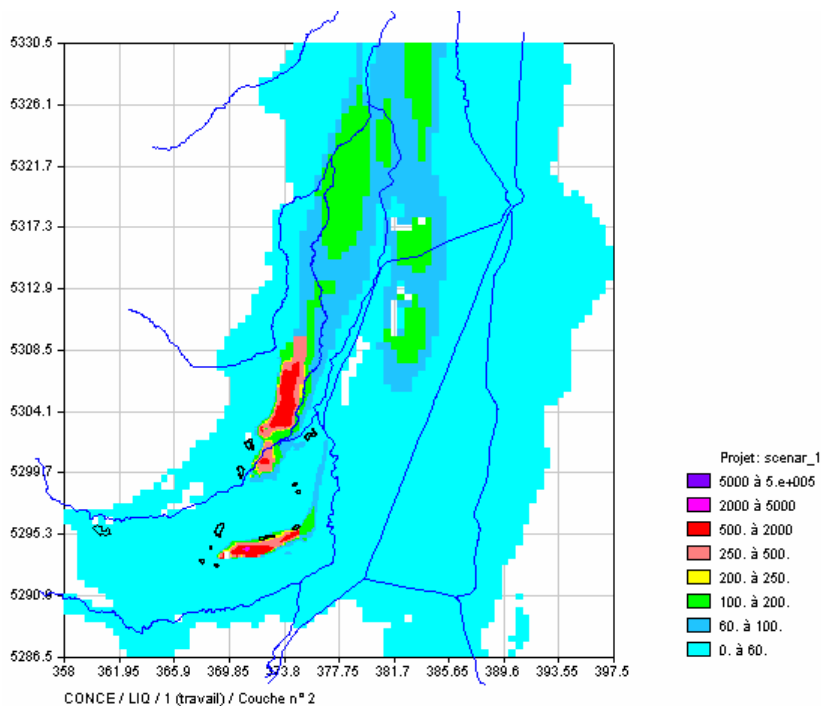


Figure 12 - Scénario 1 – concentrations en 2027 (mg/L) – couche 2

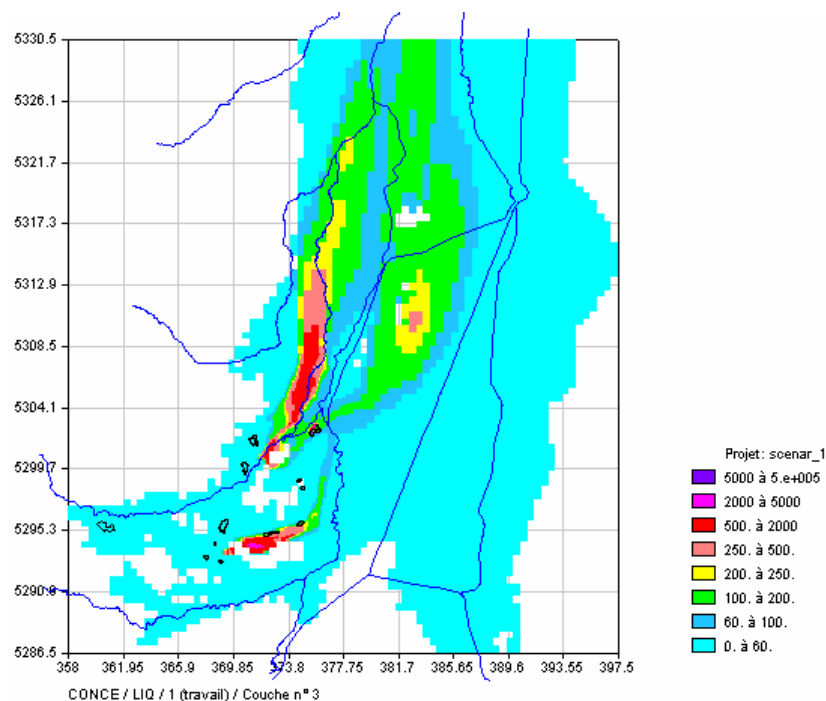


Figure 13 - Scénario 1 – concentrations en 2027 (mg/L) – couche 3

### 4.3 SCENARIOS 1 BIS ET 1 TER : VARIANTES SUR EBE

Une première variante du scénario 1 (scénario 1 bis) avait été réalisée dans un premier temps ; cette variante reprenait les conditions du scénario 1 avec arrêt des prélèvements aux puits EBE en 2006. Les résultats différaient très peu de ceux du scénario 1 du fait de la forte réduction effective des prélèvements EBE à partir de 2004.

Le scénario 1 ter est une variante du scénario 1 pour laquelle, au contraire du scénario 1 bis, on garde les prélèvements de 2003 aux puits EBE jusqu'à la fin de la période de simulation. En 2014, on arrête les puits de fixation/dépollution dont la teneur est descendue en dessous de la CMA et on reprend la simulation jusqu'en 2027.

On constate que les pompages qui continuent sont les mêmes que pour le scénario 1 ce qui n'a rien de surprenant. Les cartes des écarts entre scénario 1 et scénario 1 ter en 2027 montrent des différences faibles et limitées au voisinage des puits EBE.

### 4.4 SCENARIO 2 : HYPOTHESE D'UNE SOURCE SUPPLEMENTAIRE

Ce dernier scénario contrairement aux précédents n'est pas un scénario prévisionnel. Il a pour objectif de tenter d'expliquer les évolutions observées aux puits de Colmar qui montrent des teneurs en augmentation que le modèle ne reproduit pas.

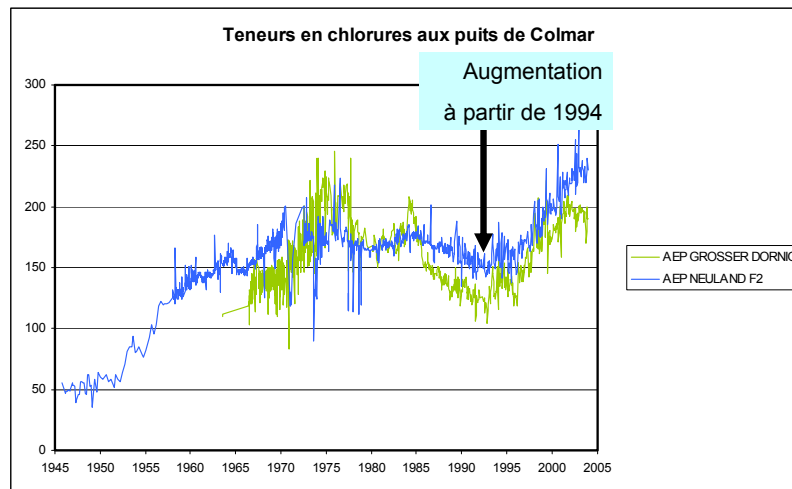


Figure 14 - Historique des teneurs en chlorures aux puits de Colmar

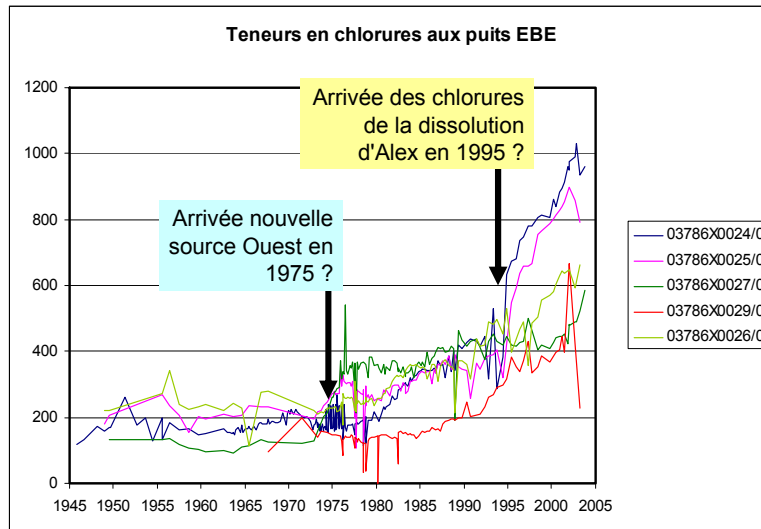


Figure 15 - Historique des teneurs en chlorures aux puits EBE

On observe en effet sur le puits Neuland une teneur qui augmente depuis 1991 alors que sur le puits Dornig, situé plus en aval, la teneur n'augmente que depuis 1995 : ceci pourrait être l'indice d'une arrivée de salure non prise en compte dans le modèle (Figure 14).

Il a donc été décidé de reprendre la simulation de 1991 à 2004 en ajoutant une source de chlorures supplémentaire à l'Ouest d'Ungersheim et d'examiner l'impact de cette source sur les puits de la langue Ouest, en particulier ceux de Colmar. L'hypothèse d'une source de saumure profonde localisée à l'Ouest d'Ungersheim a été obtenue par des campagnes géophysiques (cf. Dupont et Miehé, 2005b). L'impact probable de cette source apparaît aux puits EBE à partir de 1975 (Figure 15).

Cette simulation a nécessité de retravailler la carte de salure initiale en 1991 en fonction de cette hypothèse, d'après les trajectoires issues de la source supposée. On constate qu'il faut déjà une dizaine d'années pour que la salure issue de la source arrive à EBE, puis 14 ans pour faire le trajet depuis EBE jusqu'à rejoindre la Vieille Thur à la hauteur du dôme de Hettenschlag.

Un flux de masse correspondant à 300 T de Cl<sup>-</sup> par an a été imposé sur la superficie de la nouvelle source délimitée à l'aide de la géophysique. Ce flux est imposé sur la couche 3 seulement, la plus profonde, pour simuler une remontée de saumure.

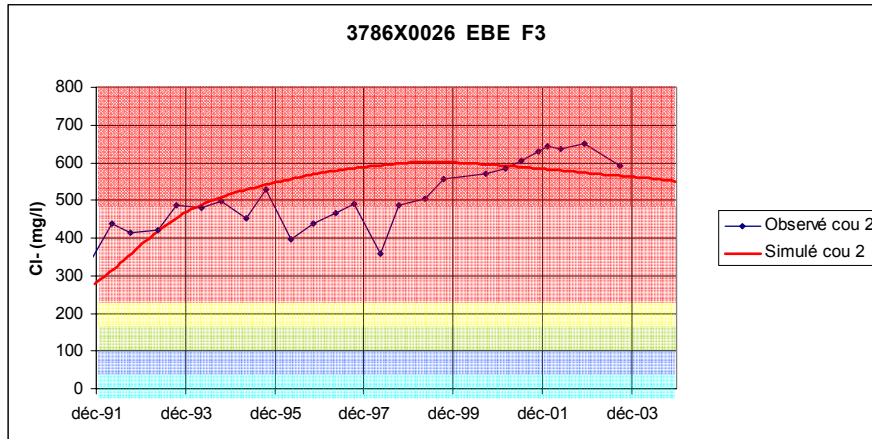


Figure 16 – Evolution au puits EBE F3 – scénario 2

Les résultats de la simulation montrent un impact net et positif (améliorant le calage pour au moins une des couches) sur le puits EBE F3 (Figure 16) et sur 3 piézomètres en aval : Mattenmuhl, Rouffach, Munwiller. Par contre, les puits de Colmar ne sont pas impactés de façon visible par cette nouvelle source de salure.

Ce résultat n'est pas vraiment satisfaisant car pour l'instant aucune des simulations ne permet de reproduire l'augmentation des concentrations en chlorures aux puits de Colmar à partir de 1994. La source de chlorures entre Ungersheim et Raedersheim est peut-être sous-estimée dans la simulation, car elle a été calée en fonction des concentrations observées dans les puits proches sans tenir compte de l'effet densitaire éventuel d'une saumure très concentrée. La concentration initiale du panache en provenance de cette source utilisée dans la simulation (état 1991) a peut-être également été sous-estimée en l'absence de données sur la salure profonde à cette époque.



## 5 Conclusions

Le projet de modélisation s'est révélé complexe à mettre en œuvre en raison du grand nombre de données disponibles et des nombreux phénomènes à simuler : caractère multicouche de l'aquifère, interactions nappe-rivières, mise en eau temporaire de canaux, soutien d'étiage, infiltrations des terrils salés, très nombreux pompages...

Malgré des imprécisions au voisinage immédiat des terrils où les effets densitaires sont très importants et où l'impact des opérations de dissolution accélérée n'a pu être pris en compte, la restitution en fin de calage du modèle des cartes historiques des chlorures et des chroniques de concentration observées est globalement satisfaisante. Le modèle semble optimiste sur la rapidité du nettoyage des fortes teneurs observées sous certains terrils, et pessimiste en ce qui concerne l'impact en aval de ces mêmes terrils.

Les résultats des simulations des différents scénarios d'exploitation mises en œuvre pour la prévision de l'évolution future de la salure dans la zone d'étude peuvent donc être considérés comme plutôt conservateurs en ce qui concerne l'évolution future des langues salées en aval du Bassin potassique.

La comparaison entre le scénario dit tendanciel, bâti d'après les prévisions actuelles des MDPA sur le traitement des terrils et l'abandon progressif des pompages de dépollution et de fixation, et le scénario où l'on maintiendrait tous les pompages existant en 2006 en fonctionnement jusqu'en 2014 montre que les prévisions des MDPA sont très proches de l'optimum.

La différence la plus significative apparaît dans l'extrémité aval de la langue salée issue du bassin potassique jusqu'à Ensisheim. On en conclut qu'il serait probablement utile de conserver les puits des barrages hydrauliques au Sud d'Ensisheim en fonctionnement plus longtemps que prévu actuellement par les MDPA dans le scénario tendanciel.

Les simulations indiquent que les langues salées aval devraient être nettoyées en surface mais pas en profondeur en 2014. La prolongation des simulations jusqu'en 2027 (en arrêtant en 2014 les pompages où la teneur en chlorures est descendue en dessous de la CMA) indique que le bon état (teneurs en dessous de 250 mg/L) devrait être atteint à l'aval du Bassin potassique en surface comme en profondeur, mais qu'il resterait des concentrations élevées en profondeur à l'aval des terrils Alex et Rodolphe (au début de la langue Ouest) et à l'intérieur du Bassin potassique.

Cela signifie qu'il faudra probablement maintenir des pompages en service dans certains secteurs de salure profonde après l'échéance de 2014. Le modèle n'est cependant pas encore assez fiable à si long terme pour pouvoir être plus précis sur ce point : l'optimisation de ces derniers pompages sera à faire au fur et à mesure en fonction des résultats effectivement acquis.



## 6 Références

- BONTE A. (1962) – Etude sur la salure de la nappe alluviale du Rhin entre Mulhouse et Colmar. Rapport MDPA, Lille le 16 juin 1962.
- CHABART M. (2003) - Contrôle et surveillance de la salinité de la nappe phréatique d'Alsace dans le bassin potassique et à l'aval (68). Rapport de synthèse des mesures effectuées en 2002. Rapport BRGM/RP-52361-FR.
- DUPONT F., MIEHE J.M. (2005a) – Contrôle de la salinité de la nappe phréatique d'Alsace en aval du bassin potassique. Campagne d'automne 2004. Rapport final. Rapport BRGM/RP-53907-FR.
- DUPONT F., MIEHE J.M. (2005b) – Contrôle de la salinité de la nappe phréatique d'Alsace en aval du bassin potassique. Campagne géophysique 2005. Rapport final. Rapport BRGM/RP-54121-FR.
- DUPONT F., MIEHE J.M., RICHALET G. (2004) – Contrôle de la salinité de la nappe phréatique en aval du bassin potassique. Complément de mesures géophysiques par méthodes électriques. Rapport final. Rapport BRGM/RP-53126-FR.
- ELSASS P. (2002) - Campagne géophysique du printemps 2002 sur la langue salée ouest du Bassin potassique. Note technique BRGM ALS/NT02N35.
- ELSASS P. (2003) - Etude géophysique de la salure profonde en aval du bassin potassique. Synthèse des campagnes 2002-2003. Note technique BRGM ALS/NT03N18.
- ELSASS P. (2004) - Etude géophysique de la salure profonde en aval du bassin potassique. Synthèse des campagnes 2002-2004. Note technique BRGM ALS/NT04N23.
- ELSASS P. (2005) - Etude géophysique des langues salées du Bassin potassique. Synthèse des travaux 2002-2005. Rapport BRGM/RP-54275-FR.
- ELSASS P., MIEHE J.M. (2005) - Etude géophysique des langues salées du Bassin potassique. Comportement hydrodynamique de la langue salée Ouest. Note BRGM ALS/NT05N10.
- ELSASS P., MIEHE J.M., KLOPPMANN W. (2005) - Etude géophysique des langues salées du Bassin potassique. Cohérence entre mesures piézométriques et géophysiques sur la langue salée Est. Note BRGM/ALSNT05N09.
- GAILDRAUD C., GOBILLON Y. (1993) – Région Alsace. Inventaire général 1991-1992 de la qualité de la nappe de la plaine d'Alsace. Exploitation et interprétation des mesures. Rapport DIREN/SEMA Alsace, mai 1993.
- GRAILLAT A., BRUNCK R. (1980) – Direction interdépartementale de l'industrie région Alsace. Les terrils du bassin potassique. Etude en vue de leur neutralisation vis à vis de la pollution saline des eaux phréatiques et de leur insertion dans le paysage. Novembre 1980.



JAILLARD L. (2004) – Chlorures calciques dans l'Ouest du Bassin potassique. Rapport Luc Jaillard, Ingénieur-Conseil, Mulhouse, avril 2004.

JAILLARD L. (2005) – DIREN Alsace. Chlorures calciques dans le Bassin potassique. Un état des connaissances. Rapport Luc Jaillard, Ingénieur-Conseil, Mulhouse, juillet 2005.

LfU (1996) – Projet de démonstration pour la protection et la gestion de la nappe franco-germano-suisse du Rhin supérieur. Demonstrationsvorhaben zum Schutz und zur Bewirtschaftung des Grundwassers des deutsch-französisch-schweizerischen Oberrheingrabens. LIFE Abschlussbericht, Karlsruhe.

MARTIN J.C., ELSASS P., NOYER M.L. (1997) – Modèle de la nappe d'Alsace. Projet de développement 312 – Rapport d'avancement n°1. Rap. BRGM R 39661.

MDPA (1991) – Sol et sous-sol. Les affaissements miniers. Potasse magazine N°101, novembre 1991, p. 4-6.

MIEHE J.M. (2002) – Caractérisation hydrodynamique de la nappe d'Alsace au droit d'une langue de salure par méthodes géophysiques. Rapport BRGM RP-51779-FR.

MIEHE J.M. (2003a) - Complément de mesures géophysiques. Langue salée ouest de la nappe d'Alsace. Rapport BRGM RP-52169-FR.

MIEHE J.M. (2003b) – Mesures géophysiques par méthodes électriques sur la langue salée est en aval du bassin potassique. Rapport BRGM/RP-52329-FR.

NOYER M.L., ELSASS P. (2006) – Modélisation de la salure profonde au droit et en aval du bassin potassique. Rapport final BRGM/RP-54389-FR, 180 p.

NOYER M.L., MENJOZ A., ELSASS P., THIERY D., MARTIN J.C. (1998) – Modèle de la nappe d'Alsace. Projet de développement 312. Rapport final. Rapport BRGM R 40335.

REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG (2002) – Reconnaissance transfrontalière de l'aquifère profond dans la bande rhénane entre Fessenheim et Breisach. Rapport final projet Interreg II.

REGION ALSACE (2000) – Inventaire de la qualité des eaux souterraines dans la vallée du Rhin supérieur. Résultats des études dans les couches profondes 1996/1997. Rapport final projet Interreg II, Vol. 3.

SCHOMBURGK S., ELSASS P. (2006) - Contrôle et surveillance de la salinité de la nappe phréatique d'Alsace dans le bassin potassique et à l'aval (68). Rapport de synthèse des mesures effectuées en 2004. Rapport BRGM RP-54079-FR. 137 p., 99 ill., 5 ann.

SCHOMBURGK S., VANDENBROUCKE H., ELSASS P. (2006) - Contrôle et surveillance de la salinité de la nappe phréatique d'Alsace dans le bassin potassique et à l'aval (68). Rapport de synthèse des mesures effectuées en 2005. Rapport BRGM RP-54742-FR. 130 p., 55 ill., 9 ann.



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

**Centre scientifique et technique**  
3, avenue Claude-Guillemain  
BP 6009  
45060 – Orléans Cedex 2 – France  
Tél. : 02 38 64 34 34

**Service géologique régional Alsace**  
15, rue du Tanin - Lingolsheim  
BP 177  
67834 Tanneries Cedex France  
Tél. : 03 88 77 48 90