

DOCUMENT PUBLIC

*Tests de traçage réalisés sur le site
Géothermique de Soultz-sous-Forêts
(juillet – novembre 1997)*

-

Rapport d'essai

Septembre 1998
R 40230



DOCUMENT PUBLIC



*Tests de traçage réalisés sur le site
Géothermique de Soultz-sous-Forêts
(juillet – novembre 1997)*

-

Rapport d'essai

L. Vaute
avec la collaboration de
L. Aquilina, S. Gentier, J.L. Pinault, P. Rose,
M. Brach, C. Maciag

Septembre 1998
R 40230



Mots clés : traçage, traceur fluorescent, acide benzoïque, géothermie, Soultz-sous-Forêts.

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

Vaute L., Aquilina L., Gentier S., Pinault J-L., Rose P. (1998) - Tests de traçage réalisés sur le site géothermique de Soultz-sous-Forêts (juillet-novembre 1997) - Rapport d'essai. *Rapport BRGM R 40320*, Orléans, 39 p, 5 annexes.

Synthèse

Cette étude s'inscrit dans le cadre du Projet Géothermique Européen Hot Dry Rock. L'objectif de ce projet est de développer un échangeur thermique profond dans un massif granitique situé sous une couverture sédimentaire d'une épaisseur de l'ordre de 1400 m. Le site expérimental est implanté à Soultz-sous-Forêts dans un contexte de graben (fossé rhénan), et plus précisément au niveau du "horst" de Soultz-sous-Forêts.

Le dispositif expérimental est constitué principalement de deux forages profonds distants de 450 m en profondeur :

- le forage GPK1 à 3590 m ($T \sim 160^{\circ}\text{C}$)
- le forage GPK2 à 3876 m ($T \sim 168^{\circ}\text{C}$)

L'objectif des travaux réalisés en 1997 était principalement de démontrer l'existence d'une connexion entre GPK1 et GPK2. Un test de circulation de longue durée (4 mois) entre les deux forages a donc été effectué du 12 juillet au 16 novembre 1997. Ce test a servi de support à la réalisation de tests de traçage, et s'est accompagné d'un suivi physico-chimique du fluide.

Trois tests de traçage ont été réalisés durant le test de circulation à différentes étapes du test. Lors du premier test de traçage, 150 kg de fluorescéine sodique (uranine) et 292 kg d'acide benzoïque ont été injectés au niveau de la tête de puits de GPK1. Un volume de 40 l de deutérium (soit 8,59 kg d'atomes de deutérium) a aussi été injecté directement au niveau d'une zone fracturée se situant à 3500 m de profondeur, grâce à un système d'injection adapté. Lors des deux tests de traçage suivants, 22,7 kg de rhodamine WT, puis 28,8 kg d'amino-G (deux composés fluorescents) ont été injectés de la même manière que la fluorescéine et l'acide benzoïque.

L'objectif commun de toutes les injections de traceurs était de vérifier l'existence d'une connexion entre les puits GPK1 et GPK2, mais chaque injection de traceur avait un objectif particulier. Lors du premier test :

- L'injection de fluorescéine devait permettre un suivi quasi continu du test de traçage grâce à des analyses sur site immédiates (bien que moins précises qu'en laboratoire).
- L'injection d'acide benzoïque avait pour but de permettre une utilisation quantitative de la courbe de restitution, grâce à des analyses différées mais précises.
- Pour le deutérium, il s'agissait de tester l'existence d'une connexion différente entre les deux puits, et d'éliminer le risque de ne pas voir les autres traceurs revenir à cause de possibles effets d'adsorption ou de dégradation (le deutérium est un traceur parfait).

Lors des deuxièmes et troisième tests, l'objectif était initialement de vérifier la stabilité des conditions hydrauliques dans l'aquifère. Après qu'un changement dans la distribution des débits ait été observé dans le forage GPK1, le nouvel objectif fut d'observer les nouvelles courbes de restitution des traceurs dans les nouvelles conditions hydrauliques.

Le retour des traceurs dans GPK2 a été observé entre 3 et 5 jours après leur injection dans GPK1. Les différences entre les courbes de restitution des traceurs (brutes ou corrigées des effets de la densité du fluide, de la variation du débit de fluide réinjecté dans GPK1 et du recyclage des traceurs) peuvent être dues à des différences de limite de détection des méthodes d'analyse, à des différences dans les conditions d'injection (par exemple pour le deutérium et les autres traceurs), à des différences de comportement du traceur dans le réservoir (adsorption et/ou dégradation de la rhodamine), ou encore à des changements des conditions hydrauliques dans l'aquifère (acide amino-G et rhodamine).

L'existence d'une connexion hydraulique entre les deux puits GPK1 et GPK2 est donc établie. Le test de circulation longue durée, d'une durée de 4 mois, à un débit moyen de 23.6 l/s (85 m³/h), a permis d'obtenir un fluide dont la température en surface a atteint 142 °C.

Sommaire

Synthèse	3
Sommaire.....	5
Introduction	7
1. Dispositif expérimental.....	9
2. Etude du colmatage et de la corrosion.....	11
2.1 Prévision du dégazage et de la formation de dépôts	11
2.2 Analyses de gaz et mesures de rapport gaz-liquide	12
2.3 Analyses des résidus piégés dans les filtres.....	12
3 Etude de l'évolution des caractéristiques physico-chimiques du fluide	15
3.1 Echantillonnage et résultats de mesure	15
3.2 Oxygène dissous	16
3.3 Potentiel d'oxydo-réduction	16
3.4 pH.....	17
3.5 Concentration en chlorure.....	17
3.6 Concentration en calcium	18
3.7 Alcalinité.....	18
3.8 Concentration en silice.....	19
3.9 Conversion des unités de concentration.....	19
4. Traçages.....	21
4.1 Objectifs des traçages	21
4.2 Choix des traceurs.....	21
4.3 Dimensionnement des traçages.....	22
4.4 Préparation des solutions de traçage	23
4.5 Comptes-rendus d'injection des traceurs.....	25
4.5.1 Deutérium	25
4.5.2 Acide benzoïque et fluorescéine	25
4.5.3 Rhodamine WT.....	26
4.5.4 Acide amino-G.....	27

4.6 Echantillonnage du fluide	28
4.7 Présentation et validation des résultats d'analyse	28
4.8 Présentation des courbes de restitution non corrigées	30
4.9 Correction des courbes brutes	31
Conclusion	35
Bibliographie.....	37
Liste des annexes.....	39

Introduction

L'objectif du Programme Géothermique Européen Hot Dry Rock est de développer un échangeur thermique profond dans un massif granitique sous une couverture sédimentaire de l'ordre de 1400 m d'épaisseur. Cet échangeur est implanté à Soultz-sous-Forêts dans un contexte de graben (Fossé Rhénan) et plus précisément au niveau du horst de Soultz. Début 1997, l'avancement du projet Soultz se résumait pour ses grandes lignes à :

- L'existence de deux forages profonds distants de 450 m en profondeur, GPK1 à 3590 m ($T = 160\text{ °C}$) et GPK2 à 3876 m ($T = 168\text{ °C}$), et de 4 forages d'observation de profondeur moins importante (1400 à 2227 m) (**annexe 0**).
- L'achèvement des stimulations hydrauliques des puits GPK1 et GPK2.
- La reconnaissance du massif granitique (altérations et fracturation) et la caractérisation physico-chimique des fluides naturels.

Le BRGM contribue au projet Soultz en réalisant pour une part des travaux scientifiques d'accompagnement des essais réalisés sur le site (suivis géochimiques, traçages et suivis microsismiques) et pour une autre part des travaux d'interprétation et de finalisation des résultats acquis dans les phases antérieures du projet (chimie et circulation des fluides naturels, altérations et fracturation du massif). A ceci s'ajoute une contribution à la modélisation des contraintes dans le Fossé Rhénan.

L'objectif des travaux réalisés en 1997 était principalement de démontrer l'existence d'une connexion entre GPK1 et GPK2. Un test de circulation de longue durée (4 mois) entre les deux forages a donc été effectué du 12 juillet au 16 novembre 1997. Ce test a servi de support à la réalisation de tests de traçage, et s'est accompagné d'un suivi physico-chimique du fluide.

La participation du BRGM au test de circulation de 1997 concerne trois aspects présentés dans ce rapport d'essai :

- L'étude des risques de corrosion et de précipitation de solutés du fluide dans les forages et les installations de surface.
- Le suivi de l'évolution physico-chimique du fluide pompé.
- La réalisation des tests de traçage : choix des traceurs, préparation des solutions de traceurs et injection, prélèvements, analyses sur site et en laboratoire à Orléans, présentation des résultats.

1. Dispositif expérimental

Le schéma du dispositif expérimental mis en œuvre pour le test de circulation est présenté en **annexe 1.1**, et est résumé dans la suite (Gérard et al., 1998).

Le fluide est pompé par une pompe immergée placée à une profondeur de 430 m dans le forage GPK2. Le fluide géothermal chaud ($T > 140\text{ °C}$) arrive ainsi en tête de puits avec un débit de l'ordre de 25 kg/s (**annexe 1.2**) sous une pression de 10 à 16 bars selon les conditions choisies. Il est immédiatement pré-filtré par une grille de pas 150 μm destinée à empêcher le passage éventuel de grosses particules.

Le fluide arrive ensuite dans le circuit primaire d'un échangeur à plaque où sa température est abaissée à 60-70 °C , puis est envoyé vers le forage GPK1 par une conduite en matériau composite de diamètre suffisant pour que les pertes de charge sur sa longueur (environ 600 m) soient négligeables pour les débits considérés. Le refroidissement du fluide géothermal est assuré par la circulation à travers le circuit secondaire de l'échangeur à plaque d'environ 300 m^3/h d'eau froide pompée à l'une des extrémité d'un étang artificiel contenant environ 20 000 m^3 d'eau, et retournée à l'autre extrémité, le trajet entre les deux assurant au contact de l'atmosphère la dissipation des calories extraites.

Sur la plate forme de forage de GPK1, le fluide est filtré par un système de filtres à poches microniques (1 à 25 μm selon les poches choisies) afin d'éviter un éventuel colmatage du puits de réinjection par les fines particules en suspension. Puis le fluide est réinjecté dans le forage GPK2 par une pompe électrique de surface, sous une pression de 20 à 45 bars (**annexe 1.3**).

La fréquence des deux pompes est ajustée automatiquement de manière à maintenir une pression constante supérieure à 10 bars dans le circuit de surface, ceci afin d'éviter le dégazage du fluide dans les installations de surface. Cette précaution a aussi pour rôle d'éviter l'intrusion d'oxygène corrosif dans le système. Bien que le fluide fut maintenu sous pression, il ne fut pas possible d'éviter totalement le dégazage du fluide : 5 dégazeurs automatiques furent donc installés au début du test sur la plate forme de forage GPK2 : sur la tête de puits, juste après la tête de puits, avant et après l'échangeur à plaques, et juste avant le début de la ligne composite.

Des inhibiteurs de corrosion et de dépôt choisis pour leur non toxicité ont été injectés dans le fluide à des doses très faibles pendant une partie des opérations, avant que l'on ne constate que l'inhibiteur de dépôt était en fait inutile (aucune tendance à l'encrassement de l'échangeur observée).

Quatre points de prélèvement permettaient l'échantillonnage du fluide :

- KP1 : sur la plate-forme de GPK2, à la sortie du forage.
- KP2 : sur la plate-forme de GPK2, avant l'entrée du fluide dans la ligne composite.
- KP3 : sur la plate-forme de GPK1, à la sortie de la ligne composite.
- KP4 : sur la plate-forme de GPK1, après la batterie de filtres industriels, avant l'injection dans GPK1.

Chaque point de prélèvement était constitué d'une vanne munie d'un serpentin de refroidissement immergé dans un récipient d'eau froide. Ainsi, la température du fluide prélevé ne dépassait pas 30 °C.

Le prélèvement de gaz était permis au niveau des 5 dégazeurs installés en cours de test.

2. Etude du colmatage et de la corrosion

Cette étude s'est déroulée en deux phases :

- **Avant le début du test de circulation** : modélisation hydrogéochimique simple de l'évolution du fluide dans la boucle géothermique s'appuyant sur les données disponibles, dans le but de prévoir les conditions de dégazage du fluide et de la formation de dépôts colmatants.
- **Pendant le test de circulation** : échantillonnage systématique de morceaux de filtres industriels, analyses de résidus solides piégés dans les poches de filtration, analyses de gaz, et mesures de rapport volumique gaz-liquide.

2.1 PREVISION DU DEGAZAGE ET DE LA FORMATION DE DEPOTS

Avant le début du test de circulation, le problème posé était d'une part la prévision du risque d'apparition de dépôts colmatants (calcite et silice amorphe) dans la boucle géothermique lorsque le test de circulation serait en cours, et d'autre part l'évaluation de la quantité d'acide chlorhydrique éventuellement nécessaire pour réduire le risque ou éliminer un éventuel dépôt.

Les données disponibles étaient : une analyse d'un échantillon de fluide de Soultz prélevé en profondeur (échantillon KP3500) dans le forage GPK1 (Aquilina et al., 1995) ; deux analyses de l'eau de l'étang et du réseau d'eau potable (communications de Socomine).

A partir de ces données, et à l'aide des logiciels TPDEGAZ (Czernichowski-Lauriol, 1990), SOLMINEQ.88 (Kharaka et al., 1998), et PHREEQC (Parkhurst, 1995), il a été possible de calculer :

1. Le pH et les indices de saturation en calcite et en silice amorphe au fond du puits GPK1 (160 °C, 350 bars).
2. Le point de bulle, le pH et les indices de saturation lors de l'évolution du fluide jusqu'aux conditions de pression et de température de la tête du forage GPK2 et de l'échangeur à plaques (avec l'hypothèse que la composition du fluide et les conditions de fond de puits de GPK2 sont semblables à celles de GPK1).
3. La quantité d'acide chlorhydrique nécessaire pour abaisser le pH du fluide dans le circuit de surface (60 °C, 10 b) de 0,5 à 1 unités pH.
4. La quantité d'acide chlorhydrique nécessaire pour abaisser le pH de l'eau de l'étang ou du réseau à 4 unités pH.

Compte tenu des incertitudes des calculs, essentiellement liées à la qualité et/ou la représentativité des données utilisées, les résultats montraient que si le fluide pompé était maintenu à une pression de 15 bars, il ne se produirait pas de dégazage, et que le risque d'apparition de dépôts colmatants serait faible dans les installations de surface. Les résultats détaillés des calculs sont consignés dans l'**annexe 2.1**.

2.2 ANALYSES DE GAZ ET MESURES DE RAPPORT GAZ-LIQUIDE

Dès le début du test de circulation, malgré le fait que le fluide ait été maintenu à une pression supérieure à 10 bars, le dégazage du fluide a imposé l'installation de dégazeurs dans la partie la plus élevée de la boucle de surface, c'est-à-dire sur la plate-forme de forage GPK2. Des prélèvements de gaz ont été faits à 7 reprises au cours du test, et analysés au BRGM. Les résultats d'analyses de gaz figurent en **annexe 2.2**. Le gaz est constitué essentiellement de gaz carbonique CO_2 et d'azote N_2 .

Des mesures du rapport liquide-gaz (GLR) ont été réalisées sur le terrain sans appareillage spécialisé : le débit de gaz a été mesuré aux cinq dégazeurs par la mesure du temps nécessaire pour vider un récipient de 2 l rempli d'eau. La somme des débits de gaz fournit le débit de gaz total évacué par les dégazeurs. Si le système est en régime permanent, c'est-à-dire si l'on considère que le débit de gaz et le débit de circulation du fluide sont constant pendant le temps de la mesure, il est possible de calculer un GLR approximatif. Les résultats des mesures de GLR sont donnés en **annexe 2.2**.

La courbe des GLR mesurés en fonction de la pression est présentée en **annexe 2.2**. La valeur mesurée du point de bulle est supérieure à 16,5 bars. La différence entre la valeur calculée au paragraphe précédent (15 bars) et la valeur réelle est vraisemblablement due au fait que la composition chimique du fluide utilisée pour les calculs est différente de la composition réelle du fluide pompé.

Les courbes de concentration du gaz en azote N_2 et en gaz carbonique CO_2 en fonction de la pression sont inversement corrélées : le CO_2 est prépondérant lorsque la pression est inférieure à 15 bars, le pourcentage de N_2 dans le gaz est supérieur à celui du CO_2 lorsque la pression supérieure à 15 bars.

2.3 ANALYSES DES RESIDUS PIEGES DANS LES FILTRES

Pendant deux mois et demi, le changement des poches de filtration s'effectuait à un rythme accéléré (parfois plusieurs changements par jour). A chaque changement d'un lot de 6 poches de filtration, le prélèvement d'un morceau de filtre de 50 à 100 cm^2 a été réalisé. Une analyse de la composition chimique du résidu visqueux qui était retenu dans les filtres (**annexe 2.3**) montra qu'au moins 62 % du résidu était constitué de matière organique pouvant être calcinée à 450 °C (valeur probablement sous-estimée). Les autres fractions les plus importantes étaient constituée de fer (11 % Fe), de silice (4 % SiO_2) et de calcium (2 % Ca).

L'identification minéralogique des résidus solides piégés par les filtres a été réalisée sur deux morceaux de filtre prélevés le 28 et le 29 septembre 1997, soit juste avant l'arrêt de l'ajout d'inhibiteur de croissance cristalline dans le fluide (**annexe 2.3**). Ces résidus sont essentiellement constitués d'une fraction amorphe aux rayons X, accompagnée de phases minérales cristallisées à l'état de trace. Ces analyses semblaient confirmer que l'inhibiteur était efficace, puisque aucun minéral ne précipitait en quantité importante. Cependant, après l'arrêt de l'ajout d'inhibiteur, le colmatage des poches de filtration s'est avéré beaucoup moindre qu'avant, ce qui semble montrer que l'ajout d'inhibiteur de croissance cristalline dans le fluide de Soultz n'est non seulement pas nécessaire, mais nuisible à la bonne marche de l'installation.

3. Etude de l'évolution des caractéristiques physico-chimiques du fluide

Le suivi chimique du fluide de Soultz pendant le test de circulation de longue durée avait un objectif double :

- **Permettre le contrôle en continu du risque de colmatage et de corrosion** des installations géothermiques, par le suivi de certains paramètres physico-chimiques et concentrations en solutés.
- **Suivre l'évolution des caractéristiques physico-chimiques du fluide** au cours du test de circulation, dans le but d'observer le comportement de l'échangeur au regard des essais précédents et de ceux en cours.

3.1 ECHANTILLONNAGE ET RESULTATS DE MESURE

Le suivi de l'évolution physico-chimique du fluide a été réalisé sur le site de Soultz-sous-Forêts, dans un laboratoire spécialement aménagé. Les valeurs de 3 paramètres physico-chimiques (O_2 dissous, potentiel rédox, pH) et les concentrations en 4 composés chimiques (calcium, alcalinité, silice, chlorure) ont été mesurées dans les échantillons prélevés. Un tableau récapitulatif des résultats de mesure figure en **annexe 3.1**.

Les mesures ont été réalisées à des rythmes variables :

- Quotidiennement aux 4 points de prélèvement KP1, KP2, KP3 et KP4 du 12 juillet au 5 août 1997.
- Quotidiennement au seul point de prélèvement KP3 du 8 août au 16 novembre 1997.
- En plus de ce rythme quotidien, la concentration en chlorure a été mesurée toutes les 4 heures au point KP3 du 8 août au 8 octobre.
- Le pH en ligne a été mesuré en continu.

En plus des analyses sur site, des prélèvements destinés à des analyses ultérieures ont été systématiquement réalisés, avec des conditionnements adaptés à l'analyse des :

- cations : échantillons filtrés à $0,45\ \mu m$ sur filtres d'acétate de cellulose.
- anions : échantillons filtrés à $0,45\ \mu m$ sur filtres d'acétate de cellulose et acidifiés jusqu'à pH 2 avec de l'acide nitrique HNO_3 concentré.
- autres composés chimiques : échantillons n'ayant subi aucun traitement (eau brute).

Les prélèvements ont été réalisés aux rythmes suivants :

- Quotidiennement aux 4 points de prélèvement KP1, KP2, KP3 et KP4 du 12 juillet au 5 août 1997 : 250 ml eau brute, 100 ml cations, 100 ml anions.
- Quotidiennement au seul point de prélèvement KP3 du 8 août au 16 novembre 1997 : 250 ml eau brute, 100 ml cations, 100 ml anions.
- En plus de ce rythme quotidien, un échantillon de 100 ml d'eau brute a été prélevé toutes les 4 heures au point KP3 du 8 août au 8 octobre.

3.2 OXYGENE DISSOUS

Objectifs : la mesure de l'oxygène dissous dans le fluide avait pour objectif de vérifier que sa valeur restait faible, une forte augmentation devant servir d'alerte, en indiquant la présence d'une fuite dans les installations de surface.

Conditions de mesure : l'oxygène dissous a été mesuré au point de prélèvement, directement dans le flacon de prélèvement pendant son remplissage, grâce à un appareil de terrain. Malgré ces précautions, le contact du fluide avec l'oxygène de l'air n'a pas permis d'obtenir une mesure très précise, d'autant plus que les valeurs mesurées étaient faibles.

Résultats (annexe 3.2) : Aucune élévation stable de la concentration en oxygène dissous n'a été observée. La plupart des valeurs sont inférieures à 0,25 mg/l, et quelques-unes sont comprises entre 0,25 et 1 mg/l.

3.3 POTENTIEL D'OXYDO-REDUCTION

Objectifs : la mesure du potentiel rédox (Eh) avait pour objectif principal la mise en alerte en cas de variation trop importante indiquant une possible corrosion du système. En effet, la valeur du potentiel d'oxydo-réduction est liée à la répartition des espèces qui prennent part aux équilibres d'oxydo-réduction, comme les éléments impliqués dans les phénomènes de corrosion : oxygène, fer, soufre.

Conditions de mesure : la mesure du potentiel d'oxydo-réduction a été effectuée grâce à un appareil de terrain. C'est une mesure globale de l'état d'oxydo-réduction de la solution mesurée : dans la plupart des cas, le potentiel n'est pas imposé par un couple unique d'oxydo-réduction (O_2/H_2O , Fe^{3+}/Fe^{2+} ...), mais par les nombreux couples présents dans la solution. D'autre part, la mise en contact du fluide avec l'oxygène provoque une modification de son état d'oxydo-réduction. Pour toutes ces raisons, cette mesure ne doit être interprétée que de manière qualitative.

Résultats (annexe 3.3) : compte tenu de la précision de la mesure, aucune valeur "anormale" n'a permis de détecter un changement brutal stable de l'état d'oxydo-réduction du fluide au cours du test. La courbe présentée montre une cependant une tendance à l'augmentation des valeurs mesurées avec le temps. Il est possible que cette

lente évolution du potentiel soit due à un empoisonnement progressif de l'électrode au cours du temps, malgré les précautions prises.

3.4 pH

Objectifs : l'objectif principal de cette mesure était de permettre la mise en alerte en cas de variation trop importante favorable à la précipitation de solutés du fluide. En effet, le pH est lié à la répartition des espèces qui prennent part aux équilibres acido-basiques en solution aqueuse, comme les ions du système carbonate et la silice dissoute.

Conditions de mesure : le pH de l'échantillon peut varier dès le moment du prélèvement en raison du dégazage immédiat du fluide soumis aux conditions de température et de pression atmosphérique. La valeur du pH mesuré grâce à un appareil de terrain immédiatement après le prélèvement est donc entachée d'une incertitude liée aux conditions du prélèvement.

Pour cette raison, un pH-mètre de type industriel pour la mesure du pH en continu, sous pression (15 bars, avec des coups de pressions possibles) et dans un fluide chaud (60 °C) a été recherché. L'électrode pH devait pouvoir être installée, nettoyée et changée sans arrêt de la circulation du fluide. L'appareil retenu est une sonde de pH combinée Dynaprobe ST864 de Broadley James Corporation. L'appareillage est constitué d'une sonde de pH avec électrode de référence et compensation de température intégrées, d'un système rétractable à vanne à boule permettant d'isoler l'électrode sans arrêter la production (pour la nettoyer, la changer ou la protéger des surpressions), et d'un contrôleur de pH à microprocesseur, délivrant après étalonnage un signal pH corrigé de la température et un signal température (2 sorties 4-20 mA). Le contrôleur peut aussi commander un système de régulation de pH. Le fournisseur garantit l'usage de l'électrode jusqu'à 140 °C et 21 bars. Ce dispositif a permis d'assurer une mesure en continu pendant 2 mois, puis, à la suite de dysfonctionnements chroniques, a dû être mis en réparation.

Résultats (annexe 3.4) : la mesure du pH en ligne a été très stable durant toute la durée du fonctionnement de l'appareil, avec une valeur moyenne de $4,79 \pm 0,02$. Au contraire, les valeurs des mesures de pH au laboratoire sont plus élevées et plus dispersées ($5,09 \pm 0,08$).

3.5 CONCENTRATION EN CHLORURE

Objectifs : le suivi de l'évolution de la concentration en chlorure avait pour but principal de renseigner sur le comportement de l'aquifère au regard des essais précédents et des conditions du test de circulation. Le volume très important d'eau douce injectée lors des essais des années précédentes (85 000 m³ au total en 1995 et 1996) avait dilué le fluide présent dans l'aquifère. Le calcul du rapport entre la concentration en chlorure du fluide avant l'injection d'eau douce et la concentration du fluide pompé lors du test a permis d'évaluer la proportion d'eau douce encore présente dans l'aquifère.

Conditions de mesure : la mesure de la concentration en chlorure (Cl^-) a été réalisée grâce à une chaîne de titrage automatique, par une méthode de titrage au nitrate d'argent. La prise d'échantillon a été réalisée par pesée, les résultats sont donc initialement exprimés en g/kg de fluide. L'emploi de cette unité permet sa conversion en une unité indépendante de la température et de la pression, la molalité (mol/kg d'eau) (cf. paragraphe 3.9).

Résultats (annexe 3.5) : la courbe d'évolution du chlorure dans le fluide en fonction du temps montre une nette augmentation de la concentration en chlorure au cours du temps, indiquant que le fluide pompé contient de moins en moins d'eau douce : la proportion d'eau douce est estimée à 30 % en début de circulation, et à 13 % à la fin du test (pour un fluide "pur" à 61 g/l).

3.6 CONCENTRATION EN CALCIUM

Objectifs : la mesure de l'évolution de la concentration en calcium a pour but de renseigner sur le comportement de l'aquifère du point de vue des interactions eau-roche. Ces données seront exploitées par des études géochimiques.

Conditions de mesure : la mesure de la concentration en calcium (Ca^{2+}) a été réalisée grâce à une chaîne de titrage automatique, par une méthode de titrage à l'EDTA (Ethylene Diamin Tetraacetic Acid). La prise d'échantillon a été réalisée par pesée, les résultats sont donc exprimés initialement en g/kg de fluide. L'emploi de cette unité permet sa conversion en une unité indépendante de la température et de la pression, la molalité (mol/kg d'eau) (cf. paragraphe 3.9).

Résultats (annexe 3.6) : comme pour le chlorure, la courbe d'évolution de la concentration en calcium dans le fluide montre une nette augmentation de la concentration au cours du temps, indiquant que le fluide pompé contient de moins en moins d'eau douce. Les autres phénomènes géochimiques pouvant affecter la concentration en calcium dans le fluide feront l'objet d'études ultérieures.

3.7 ALCALINITE

Objectifs : le suivi de l'évolution de l'alcalinité a pour but de renseigner sur le comportement de l'aquifère du point de vue des interactions eau-roche. Ces données seront exploitées par des études géochimiques.

Conditions de mesure : la mesure de l'alcalinité a été réalisée par une méthode de titrage à l'acide chlorhydrique, la méthode de Gran. Les résultats sont exprimés initialement en meq/l de fluide, puis convertis en molalité (cf. paragraphe 3.9) d'ion hydrogénocarbonate (mol HCO_3^- /kg d'eau), en supposant que toute l'alcalinité est due aux seuls ions hydrogénocarbonate.

Résultats (annexe 3.7) : la courbe d'évolution de l'alcalinité dans le fluide présente de lentes oscillations au cours du temps. L'interprétation des résultats fera l'objet d'études géochimiques ultérieures.

3.8 CONCENTRATION EN SILICE

Objectifs : la mesure de l'évolution de la concentration en silice a pour but de renseigner sur le comportement de l'aquifère du point de vue des interactions eau-roche. Ces données seront exploitées par des études géochimiques.

Conditions de mesure : la mesure de la concentration en silice (SiO_2) a été réalisée grâce à un spectrophotomètre d'absorption UV-visible de terrain par une méthode colorimétrique. Les résultats sont exprimés initialement en mg/l de fluide, puis convertis en molalité (mol/kg d'eau) (cf. paragraphe 3.9).

Résultats (annexe 3.8) : la courbe d'évolution de la concentration en silice dans le fluide présente de brusques variations au cours du temps. L'interprétation des résultats fera l'objet d'études géochimiques ultérieures.

3.9 CONVERSION DES UNITES DE CONCENTRATION

Objectif : convertir les unités de concentration des différents composés analysés (calcium et chlorure en $[\text{g/kg}_{\text{sol}}]$, silice en $[\text{mg/l}_{\text{sol}}]$, alcalinité en $[\text{meq/l}_{\text{sol}}]$) en une unité commune indépendante de la température et de la pression, la molalité = mole par kilo d'eau = $[\text{mol/kg}_{\text{H}_2\text{O}}]$ (annexe 3.9).

Calcul des molalités de chlorure et de calcium : les formules de conversions d'unités en molalité (Michard, 1989) nécessitent de connaître la masse de tous les solutés en solution. Dans le cas du fluide de Soultz, les trois espèces très majoritaires sont Ca^{2+} , Na^+ et Cl^- , et l'on peut négliger les autres espèces en solution. Après calcul, on obtient une formule modifiée permettant la conversion de l'unité de concentration en chlorure et en calcium mesurée sur le terrain ($[\text{g/kg}_{\text{sol}}]$) en molalité $[\text{mol/kg}_{\text{H}_2\text{O}}]$.

Calcul de la densité du fluide : la connaissance de la densité est indispensable pour convertir en molalité les unités de concentration en silice ($[\text{mg/l}_{\text{sol}}]$) et d'alcalinité ($[\text{meq/l}_{\text{sol}}]$). La formule retenue (Williams, 1997) permet le calcul de la densité en fonction de la température T ($T < 300\text{ °C}$) et des molalités de chlorure et de calcium ($0,5\text{ M} < \text{molalité totale} < 6\text{ M}$), avec une précision de $\pm 0,01\text{ g/cm}^3$. La comparaison de la densité calculée à 20 °C et de la densité mesurée à 20 °C sur les mêmes échantillons montre une très bonne adéquation entre les deux résultats : l'écart maximal est de 0.002 g/cm^3 sur 8 mesures.

Calculs des molalités de silice et d'alcalinité : ce calcul se fait grâce aux formules modifiées tirées des calculs précédents.

4. Traçages

Trois tests de traçage ont été réalisés durant le test de circulation à différentes étapes du test. Lors du premier test, 150 kg de fluorescéine sodique (uranine) et 292 kg d'acide benzoïque ont été injectés au niveau de la tête de puits de GPK1. Un volume de 40 l de deutérium (soit 8,59 kg d'atomes de deutérium) a aussi été injecté directement au niveau d'une zone fracturée se situant à 3500 m de profondeur, grâce à un système d'injection adapté. Après le succès de ce premier test de traçage, il fut décidé de réaliser un deuxième test de traçage, puis un troisième. Ainsi, 22,7 kg de rhodamine WT, puis 28,8 kg d'amino-G (deux composés fluorescents) ont été injectés depuis la surface de la même manière que la fluorescéine et l'acide benzoïque.

4.1 OBJECTIFS DES TRAÇAGES

L'objectif commun de toutes les injections de traceurs était de vérifier l'existence d'une connexion entre les puits GPK1 et GPK2, mais chaque injection de traceur avait un objectif propre supplémentaire (tableau de synthèse des traçages en **annexe 4.1**) :

Premier test de traçage :

- L'injection de fluorescéine devait permettre un suivi quasi continu du test de traçage grâce à des analyses sur site immédiates (bien que moins précises qu'en laboratoire).
- L'injection d'acide benzoïque avait pour but de permettre une utilisation quantitative de la courbe de restitution, grâce à des analyses différées mais précises.
- Pour le deutérium, il s'agissait de tester l'existence d'une connexion différente entre les deux forages. L'injection du traceur a été réalisée à une profondeur de 3500 m, au droit d'une zone fracturée productrice.

Deuxième et troisième tests de traçages : après le succès du premier test de traçage, l'objectif était initialement de vérifier la stabilité des conditions hydrauliques dans l'aquifère en réalisant deux nouveaux tests de traçage sans modifier les conditions du test de circulation. Juste avant le début du deuxième test de traçage, un changement dans la distribution des débits a été observé dans le forage GPK1, correspondant à une forte baisse de la pression de ré-injection pour un même débit injecté (cf. annexe 1.3). Le nouvel objectif des deuxième et troisième traçages fut alors d'observer les nouvelles courbes de restitution des traceurs dans les nouvelles conditions hydrauliques.

4.2 CHOIX DES TRACEURS

Contraintes : Les traceurs choisis devaient en premier lieu présenter de faibles probabilités d'adsorption et/ou de dégradation dans l'aquifère, le fluide à tracer étant

caractérisé par une très forte minéralisation (environ 100 g/l) et une température relativement élevée d'environ 140 °C. D'autre part, la mesure de leur concentration devait être précise et fiable.

Fluorescéine et acide benzoïque : d'après l'expérience acquise à Soultz, ainsi que d'après les résultats d'expériences de traçage en milieu géothermique décrits dans la bibliographie (Pauwels, 1995 ; Rose et McPherson, 1997), le choix s'est porté sur l'acide benzoïque et la fluorescéine (tableau de synthèse des caractéristiques des traceurs choisis en **annexe 4.2**). Ces deux traceurs avaient déjà été utilisés avec succès dans l'aquifère géothermique de Dixie Valley (USA), à des températures de 200 à 230 °C environ (Adams et al., 1993). La fluorescéine peut être dosée sur le terrain grâce à un appareillage simple d'utilisation (fluorimètre), et le coût total des traceurs ne dépassait pas le budget initialement prévu. Comme argument de choix supplémentaire, il faut signaler que l'évolution du rapport fluorescéine/acide benzoïque au cours du temps peut fournir un moyen d'estimer la température du réservoir, par comparaison à l'évolution de ce même rapport dans un pilote de laboratoire (Adams et al., 1989).

Deutérium : ce traceur a été choisi principalement en raison de la très bonne sensibilité de son analyse en laboratoire, qui permet de détecter de faibles concentrations. Ceci avait pour conséquence que le deutérium pouvait être injecté sous un faible volume directement au niveau d'une zone fracturée située à 3500 m de profondeur, à l'aide d'un dispositif d'injection adapté, avec cependant de bonnes chances de pouvoir être détecté une fois dilué dans l'aquifère. De plus, le deutérium a été choisi pour sa propriété de traceur parfait de l'eau (le deutérium est une molécule d'eau constituée d'un atome d'oxygène et de deux isotopes stables de l'hydrogène). L'inconvénient majeur de ce traceur est qu'il est présent dans la nature à des concentrations variables.

Rhodamine WT : des expériences de laboratoire et sur site géothermique montrent que la rhodamine WT peut être considérée comme un traceur conservatif en réservoir géothermique jusqu'à une température de 160 °C (Rose et Adams, 1994).

Acide amino-G : ce traceur peut être utilisé en réservoir géothermique jusqu'à une température de 250 °C (Rose et McPherson, 1997).

4.3 DIMENSIONNEMENT DES TRAÇAGES

Premier traçage : la concentration initiale d'un traceur est "diluée" dans le volume d'eau tracé dans le réservoir. Ce volume inconnu peut être approché par deux méthodes rudimentaires (**annexe 4.3**) :

- On peut estimer le volume qui va circuler entre les deux puits. Le débit de production prévu était de 20 à 30 l/s. Durant 120 j, un tel rythme conduit à un volume total de 200 à 300 000 m³ (2 à 3.10⁸ l).
- On peut également approcher de façon très sommaire le volume de l'échangeur en le calculant de la manière suivante : (distance entre puits)² x

(hauteur zones de circulation) x (porosité de l'aquifère). Le volume calculé varie de $1,5 \cdot 10^9$ à $5 \cdot 10^7$ l en fonction des hypothèses retenues.

Connaissant les limites de détection de chaque méthode d'analyse, il est possible d'estimer les quantités de traceurs à injecter pour qu'ils soient détectables après dilution dans l'aquifère. Les quantités retenues, compatibles avec les budgets disponibles, ont été de 300 kg pour l'acide benzoïque, 150 kg pour la fluorescéine, et 40 l de deutérium D₂O (soit 8,59 kg d'atomes de deutérium).

Deuxième et troisième traçages : les quantités de rhodamine WT et d'acide amino-G nécessaires pour le deuxième et le troisième tests ont été déterminées de façon plus sûre : le taux de restitution des traceurs précédemment injectés et la valeur de la limite de détection de chaque méthode analytique a servi de guide pour le calcul de la quantité minimale à injecter. Les quantités de traceurs rapidement disponibles étaient supérieures aux quantités minimales nécessaires. Des masses de 22,7 kg de rhodamine et de 28,8 kg d'acide amino-G ont été injectés lors du deuxième et du troisième test respectivement.

4.4 PREPARATION DES SOLUTIONS DE TRAÇAGE

Contraintes de préparation

- Les traceurs ont été dissous dans l'eau du réseau. L'utilisation du fluide de Soultz pompé était prohibée en raison du fort dégazage et des fortes précipitations de minéraux lorsque le fluide est soumis aux conditions atmosphériques.
- Le pH de la solution de traceurs devait être le plus proche possible de celui du fluide de Soultz non dégazé, qui est de 5 environ, pour éviter d'éventuelles précipitations de minéraux du fluide lors d'une augmentation du pH.
- Le volume de la solution ne devait pas excéder quelques mètres cubes pour des raisons de facilité de mise en oeuvre.

Matériel utilisé

- Deux fûts de 80 l pour la dissolution et le mélange des sacs de traceurs.
- Un bâton pour mélanger le contenu des fûts.
- Une cuve de 20 m³ pour le stockage de la solution de traçage ;
- Une pompe de re-circulation d'un débit de 10 m³/h environ, permettant le mélange de la solution de traçage dans le bac.

Les fûts, la cuve et la pompe devaient résister à des solutions chaudes de pH élevé. La manipulation de soude caustique, d'acide chlorhydrique concentré et des traceurs (colorants) a nécessité d'importantes protections personnelles : masque anti-fumées, lunettes de protection, visière anti-projection, imperméable, gants, bottes, et un jet d'eau à proximité pour le rinçage en cas de projection importante.

Deutérium : seule l'injection du deutérium n'a nécessité aucune préparation : ce traceur a été livré sous forme de 20 bouteilles de 2 l en plastique, et injecté tel quel.

Fluorescéine et acide benzoïque : la solubilité de l'acide benzoïque dans l'eau est relativement faible (2,9 g/l à 20 °C, et 68 g/l à 95 °C). Compte tenu des très grosses quantités d'acide à dissoudre (300 kg), des expériences de dissolution en laboratoire devaient être menées. Il est apparu que la solubilité de l'acide ne devenait significative qu'à pH très élevé (jusqu'à 300 g/l à pH > 13). Une fois l'acide dissous à ce pH, il était possible d'abaisser le pH jusqu'à une valeur de 7, à condition de diluer préalablement la solution jusqu'à 50 g/l. Le protocole de mise en solution des traceurs se trouve en **annexe 4.4**. Les 300 kg d'acide benzoïque ont été dissous dans 6000 l d'eau du réseau.

la solubilité de la fluorescéine sodique (ou uranine) est supérieure à 400 g/l, et sa mise en solution ne pose pas de problèmes particuliers. Les 150 kg de fluorescéine ont été simplement versés dans 6000 l d'eau du réseau stockés dans le bac. Le volume final de la solution de fluorescéine et d'acide benzoïque était de 6200 l.

Remarques :

- La fluorescéine a été dissoute après l'acide benzoïque, de manière à pouvoir contrôler visuellement la bonne dissolution de l'acide benzoïque, sans être gêné par la coloration violet foncé de la fluorescéine en forte concentration dans l'eau.
- Lors d'un accident de manipulation pendant la préparation de la solution d'acide benzoïque, l'équivalent de 1/3 de fût a été versé hors de la cuve. La masse totale d'acide benzoïque mise en solution est donc estimée à 292 kg, au lieu des 300 initialement prévus.
- La dissolution des 300 kg d'acide benzoïque a présenté de nombreuses difficultés. En particulier, les paillettes d'acide benzoïque se dissolvaient de manière aléatoire, à la différence de ce qui avait été observé au laboratoire. La quantité de soude (et donc d'acide chlorhydrique) a dû être fortement augmentée.

Retour d'expérience :

Rétrospectivement, il apparaît que le choix de la forme acide de l'acide benzoïque est une erreur en raison des difficultés très importantes de sa préparation. La phase de dissolution de l'acide dans une solution de soude est en réalité une opération de fabrication de benzoate de sodium, dont la solubilité - dépendante du pH - est beaucoup plus élevée. Il aurait été plus judicieux d'acheter directement du benzoate de sodium (dont le prix est comparable à celui de l'acide benzoïque), et de le dissoudre directement dans l'eau du réseau. En effet, une expérience a montré depuis que la solubilité du benzoate de sodium dans l'eau à pH 8 est de 100 g/l. Dans de l'eau à pH 6, sa solubilité est d'environ 45 g/l.

Rhodamine WT : 22,7 kg de rhodamine ont été livrés sous forme dissoute dans de l'acide acétique. La préparation de la solution de traçage a consisté à verser la solution de rhodamine dans 2500 l d'eau du réseau stockés dans le bac de 20 m³. Le volume final de la solution était de 2600 l.

Acide amino-G : 48 kg d'acide amino-G ont été livrés sous la forme de sacs de poudre, qu'il a suffi de dissoudre dans un volume d'eau du réseau suffisant stocké dans le bac. Le volume final de la solution était de 2150 l.

4.5 COMPTES-RENDUS D'INJECTION DES TRACEURS

4.5.1 Deutérium

Le deutérium devait être injecté dans la partie inférieure du puits GPK1, au droit d'une fracture importante, située à 3450 m de profondeur. Deux méthodes d'injection étaient possibles.

- *Coil tubing* : un tube de petit diamètre pouvait être mis en place dans le puits avant les essais. Le volume injecté aurait pu être de plusieurs centaines de litres, injectés au sein d'un courant plus important injecté depuis la surface dans le puits, afin de bien faire pénétrer le traceur dans la fracture et ne pas risquer de le laisser stagner dans la partie basse du puits.
- *Dump-bailer* : un volume limité de traceur (20 l) pouvait être injecté au moyen d'un dump-bailer (conteneur étanche en forme d'obus, d'une capacité de 20 l, dont l'ouverture peut être télécommandée depuis la surface) au droit de la fracture, au sein d'un courant introduit depuis la surface dans l'ensemble du puits. Pour des raisons de disponibilité matérielles, ce mode d'injection a été retenu.

30 juillet 1997 ; 16:00 et 20:30 : injections de 2 x 20 l de deutérium au droit de la fracture au moyen de deux descentes du dump-bailer dans le forage (tableau de synthèse des conditions d'injection des traceurs en **annexe 4.5**).

Remarque : à plusieurs reprises lors du remplissage du dump-bailer à l'aide d'un entonnoir, des petites fractions, dont le volume ne peut pas être estimé, ont été répandues sur le sol. De plus, des petites fuites à la base de l'outil ont rendu nécessaire une étanchéification temporaire (ruban adhésif). Le volume injecté n'est donc pas précisément de 40 l.

4.5.2 Acide benzoïque et fluorescéine

31 juillet 1997 ; 09:00 - 21:00 : dissolution de 292 kg d'acide benzoïque et 150 kg de fluorescéine sodique (uranine) dans 6000 l d'eau du réseau. Le volume final de la solution était d'environ 6200 l, et le pH final de la solution était de 7 (**annexe 4.5**). La

solution de traçage a été mise en recirculation dans le bac de 20 m³ durant toute la nuit et le lendemain matin jusqu'au début de l'injection.

1 août 1997 ; 12:30 : *prélèvement de 2 échantillons témoins de la solution de traçage stockée dans le bac.*

13:00 - 14:05 : *injection du volume principal (5200 l) de la solution de traçage d'acide benzoïque et de fluorescéine sodique dans le puits GPK1 + prélèvement d'un échantillon de fluide au point KP3 (13:30).* Un volume de solution d'environ 1000 l (soit une hauteur dans la cuve de 10 cm) a été laissée au fond de la cuve de façon à éviter le dénoyage de la pompe d'injection. Cette pompe, de débit nominal 80 l/mn (spécifications constructeur), a assuré l'injection de la solution de traçage dans le circuit de surface, en un point situé en amont des points de prélèvement KP3 et KP4 (cf. schéma des installations de surface de l'annexe 1.1). Le mélange solution de traçage/fluide de Soultz a circulé à travers le système de filtration à poches microniques (25 µm), qui a montré un léger colmatage temporaire (augmentation de la pression de filtration).

14:05 - 21:00 : *injection dans le puits GPK1 des eaux de rinçage du bac de stockage de la solution de traçage, contenant des quantités décroissantes de traceur.*

Remarque : les résultats d'analyse des deux échantillons témoins et de l'échantillon du mélange traceurs/fluide de Soultz sont cohérentes avec les masses de traceurs mises en solution. Mais compte tenu de l'incertitude sur le volume principal injecté, sur le débit de la pompe d'injection, et sur l'homogénéité du mélange traceurs/fluide de Soultz, il est préférable de se fier aux valeurs données par les analyses des échantillons témoins prélevés dans le bac pour des calculs ultérieurs.

4.5.3 Rhodamine WT

9 octobre 1997 ; 09:00 - 17:00 : *dissolution de 22,7 kg de rhodamine WT en solution dans l'acide acétique dans 2500 l d'eau du réseau. Le volume final de la solution était d'environ 2600 l (annexe 4.5).* La solution de traçage a été mise en recirculation jusqu'au début de l'injection.

16:15 et 16:45 : *prélèvement de 2 échantillons du fluide au point KP4, après le système de filtration à poches microniques (échantillons de référence avant injection du traceur).*

17:00 : *prélèvement de 3 échantillons témoins de la solution de traçage stockée dans le bac.*

17:35 - 18:10 : *injection du volume principal (2000 l) de la solution de rhodamine WT + prélèvement de 6 échantillons du mélange fluide-traceur au point KP4 (1 prélèvement toutes les 5 mn).* La même pompe ayant servi pour l'injection des traceurs précédents

(débit nominal 79.8 l/mn) a assuré le mélange de la solution avec le fluide de Soultz en circulation, en un point du circuit de surface situé en amont des points de prélèvement KP3 et KP4. Le mélange solution de traçage/fluide de Soultz a circulé à travers le système de filtration à poches microniques.

18:10 - 10 octobre ; 01:10 : *injection dans le puits GPK1 des eaux de rinçage du bac de stockage de la solution de traçage, contenant des quantités décroissantes de traceur + prélèvement de 5 échantillons du mélange fluide-traceur au point KP4 (18:15 ; 18:45 ; 18:30 ; 19:30 ; 22:30 ; 00:00).*

Remarque : le fait de réaliser l'échantillonnage au point KP4 est important pour deux raisons : l'homogénéité du mélange est meilleure (plus grande longueur de tuyau, passage à travers les filtres), donc le prélèvement est plus représentatif de la solution injectée. Dans le cas d'un éventuel piégeage du traceur sur les filtres, la composition de la solution réellement injectée est mieux connue. D'autre part, le fait de réaliser un échantillonnage à un rythme élevé permet de mieux connaître les conditions réelles de l'injection.

4.5.4 Acide amino-G

23 octobre 1997 ; 12:00 - 16:00 : *dissolution de 28,8 kg d'acide amino-G dans 2000 l environ d'eau du réseau. Le volume final de la solution était de 2150 l (annexe 4.5). La solution de traçage a été mise en recirculation jusqu'au début de l'injection.*

16:30 : *prélèvement de 3 échantillons témoins de la solution de traçage stockée dans le bac.*

16:53 - 17:33 : *injection du volume principal (2000 l) de la solution de d'acide amino-G + prélèvement de 6 échantillons du mélange fluide-traceur au point KP4 (1 prélèvement toutes les 5 mn).* La même pompe ayant servi pour l'injection des traceurs précédents (débit nominal 79.8 l/mn) a assuré le mélange de la solution avec le fluide de Soultz en circulation, en un point du circuit de surface situé en amont des points de prélèvement KP3 et KP4. Le mélange solution de traçage/fluide de Soultz a circulé à travers le système de filtration à poches microniques.

17:33 : *panne de la pompe d'injection.* A une heure indéterminée pendant l'injection, la pompe d'injection se mit à faire un bruit anormal. Il se peut que cela corresponde au moment où la pompe ait commencé à se dénoyer. Si le débit de la pompe est effectivement de 79.8 l/mn, cet incident s'est produit vers 17:18 h. A 17:33 h, la pompe d'injection est tombée en panne. Un volume estimé à 150 l est resté au fond de la cuve. L'eau de rinçage n'a donc pas été ajoutée dans le bac. Le volume principal injecté peut être estimé à 2000 l. Le reste est resté dans la cuve.

17:28 et 17:38 : *prélèvement de 2 échantillons du mélange fluide-traceur au point KP4.*

4.6 ECHANTILLONNAGE DU FLUIDE

Deutérium : l'échantillonnage a été réalisé au rythme de un prélèvement par jour. Les échantillons ont été conditionnés dans du polyéthylène transparent, le bouchon étant étanchéifié avec du papier parafilm afin d'éviter tout échange gazeux avec l'atmosphère, et conservés au réfrigérateur dans l'attente de leur expédition au laboratoire du BRGM pour analyse.

Acide benzoïque et fluorescéine : l'échantillonnage a été réalisé aux rythmes suivants :

- Quotidiennement aux 4 points de prélèvement KP1, KP2, KP3 et KP4 du 12 juillet au 5 août 1997 : acide benzoïque (flacon 100 ml verre brun) et fluorescéine (flacon 100 ml polyéthylène transparent).
- Quotidiennement au seul point de prélèvement KP3 du 8 août au 16 novembre 1997 : acide benzoïque (flacon verre brun).
- Toutes les 4 heures au point KP3 du 8 août au 16 novembre : fluorescéine (flacon polyéthylène transparent 100 ml jusqu'à fin septembre, puis flacon opaque 60 ml de début octobre jusqu'au 16 novembre).

Les flacons, conservés au réfrigérateur, ont été périodiquement transportés au BRGM et stockés en chambre froide dans l'attente de l'analyse de l'acide benzoïque.

Rhodamine WT et acide amino-G : l'échantillonnage a été réalisé au rythme de 1 prélèvement toutes les 4 heures à partir de la fin de l'injection de chaque traceur. Les échantillons ont été conditionnés dans des flacons de 60 ml en polyéthylène opaque et conservés au réfrigérateur. Deux fois par semaine, une glacière contenant les échantillons a été envoyée par Chronopost au laboratoire du BRGM pour l'analyse de la rhodamine.

4.7 PRESENTATION ET VALIDATION DES RESULTATS D'ANALYSE

Méthode de validation : la validation des résultats d'analyse obtenus en 1997 par BRGM Analyses a été effectuée en 1998 avec le concours d'un laboratoire indépendant (Laboratoire de l'Energy and Geoscience Institute -EGI-, Salt Lake City, USA). La validation des résultats analytiques s'est déroulée en deux phases :

- *Première phase* : pour certains échantillons, analyse double dans les deux laboratoires. Pendant les tests de traçage, une partie des échantillons ont été prélevés en double et envoyés simultanément à BRGM Analyse et au laboratoire de l'EGI. Au laboratoire du BRGM, les analyses ont été réalisées immédiatement après réception. Les analyses réalisées au laboratoire de l'EGI ont pu être réalisées avec plusieurs mois de retard, pour des raisons matérielles. Toutefois, les conditions adaptées de conservation des échantillons (flacons en polyéthylène opaques, obscurité, température de 4 °C) permettent une conservation correcte des échantillons. Les résultats

d'analyses des traceurs (acide benzoïque, fluorescéine, rhodamine, amino-G) obtenus par les deux laboratoires sont présentés en **annexe 4.7**.

- *Deuxième phase* : en cas de différence significative, recherche des causes possibles. Au sein de chaque laboratoire, et pour chaque méthode d'analyse, une analyse précise des sources d'erreurs possibles a été menée, en fonction du matériel utilisé et de la méthode employée. Les descriptions détaillées des méthodes et du matériel, ainsi que le détail des calculs effectués sur les résultats bruts ont ensuite été échangés entre laboratoires, de manière à soumettre le résultat de l'examen interne à un spécialiste extérieur au laboratoire.

Deutérium : le deutérium est analysé par spectrométrie de masse. Les résultats sont donnés sous la forme de "deltas" en "pour mille" (**annexe 4.7**). L'incertitude sur la mesure est +/- 0,8 pour mille. Les résultats n'ont pas été comparés à ceux obtenus par d'autres laboratoires.

Acide benzoïque : l'acide benzoïque est analysé à BRGM Analyse par chromatographie liquide haute performance, après extraction et concentration sur un adsorbant (limite de détection 10 µg/l, précision 2 %). Les résultats d'analyses de comparaison réalisées au laboratoire de l'EGI avec des étalons et un matériel différents et une méthode développée indépendamment sont parfaitement cohérents avec ceux du BRGM (**annexe 4.7**).

Fluorescéine : l'absence de mesure de concentration en fluorescéine jusqu'au 10 août est dû à une erreur d'échantillonnage. Les mauvaises conditions de conservation des échantillons n'ont pas permis d'obtenir des mesures correctes.

L'analyse de la fluorescéine sur site par fluorimétrie avait pour but la détection rapide quoique moins précise du traceur (dilution des échantillons 1/10^{ème}, limite de détection 50 µg/l, précision des mesures 15 %). Les résultats sont donc relativement dispersés (**annexe 4.7**). Après la confirmation du retour des autres traceurs, il fut décidé au cours du test de circulation (9 octobre 1998) d'abandonner les mesures de terrain, et de réaliser les analyses de fluorescéine à BRGM Analyses avec un spectrofluorimètre plus performant (dilution des échantillon 1/100^{ème}, limite de détection 1 µg/l, précision 2 %). Les résultats de mesure sont beaucoup moins dispersés, mais restent systématiquement inférieurs aux résultats obtenus par le laboratoire de l'EGI.

Ces différences peuvent être attribuées aux légères différences entre les procédures d'analyse dans les deux laboratoires, ces différences étant pénalisantes lorsqu'il s'agit d'analyser des traces : en effet, les concentrations mesurées sont de l'ordre du µg/l après dilution des échantillons au 1/100^{ème}. Une telle dilution est imposée par la minéralisation très élevée du fluide de Soultz (100 g/l) : dès que le fluide géothermal est exposé aux conditions de pression et de température de l'atmosphère, de nombreuses particules précipitent. De plus, préalablement à l'analyse de la fluorescéine, le pH des échantillons

doit être ajusté à 10 de manière à obtenir une fluorescence maximale, ce qui provoque une précipitation encore plus importante de particules. La cinétique de précipitation fait que les particules continuent à se former après la filtration de l'échantillon, jusque dans l'appareil d'analyse (spectrofluorimètre). Ce dernier ne tolérant pas la présence de particules, les échantillons doivent être très fortement dilués, de manière à limiter la précipitation. Ceci pénalise à la fois la limite de détection et la précision de l'analyse de la fluorescéine dans le fluide de Soultz.

Une expérience complémentaire a révélé que les valeurs de concentration en fluorescéine sont beaucoup plus élevées si l'analyse est réalisée 24 h après la dilution. Ceci montre que la fluorescéine est adsorbée sur les particules qui précipitent naturellement dans le flacon d'échantillonnage pendant le transport et le stockage de l'échantillon. Les résultats d'analyse de la fluorescéine sur site, à BRGM Analyses et au laboratoire de l'EGI sont donc systématiquement sous-évalués.

Rhodamine WT : la rhodamine WT est analysée par spectrofluorimétrie (dilution des échantillons 1/20^{ème}, limite de détection 0,5 µg/l, précision 4 %). Les résultats obtenus au BRGM sont presque systématiquement inférieurs à ceux obtenus au laboratoire de l'EGI, les écarts pouvant aller jusqu'à plus du double (**annexe 4.7**). L'examen comparatif des méthodes d'analyses des deux laboratoires n'a pas permis de détecter l'origine des différences de résultats.

Acide amino-G : l'acide amino-G est analysée par chromatographie liquide haute performance avec détection spectrofluorimétrique (dilution des échantillons 1/5^{ème}, limite de détection 10 ppb, précision 10 %). Les résultats du BRGM sont presque toujours supérieurs à ceux de l'EGI, avec des écarts pouvant aller jusqu'au double (**annexe 4.7**). L'examen comparatif des méthodes d'analyses des laboratoires du BRGM et de l'EGI n'a pas permis de détecter l'origine des différences de résultats.

4.8 PRESENTATION DES COURBES DE RESTITUTION NON CORRIGÉES

Les courbes de restitution non corrigées de tous les traceurs sont représentées sur le même graphique de synthèse en **annexe 4.8**. Les unités de concentration sont données dans l'unité du résultat d'analyse. Aucune conversion d'unité ni correction des effets de densité et de recyclage du fluide n'ont été effectuées. De plus, les arrêts de circulation et les variations de débit ne sont pas pris en compte. Certaines remarques peuvent cependant être formulées.

Délai de retour des traceurs : le retour des traceurs dans le fluide produit à GPK2 a été détectée entre 3 et 5 jours après l'injection dans GPK1. Ces différences apparentes de vitesse de transport des particules de traceurs les plus rapides peuvent être dues :

- A des différences entre les limites de détection des méthodes d'analyse.
- A des différences dans les conditions d'injection.
- A des différences dans le comportement des traceurs dans le réservoir (adsorption, dégradation thermique ou chimique).
- A des changements dans les conditions hydrauliques.

Acide benzoïque et fluorescéine : les courbes de percée de l'acide benzoïque et de la fluorescéine présentent une forme semblable : un maxima de concentration apparaît entre 6 et 10 jours après l'injection, puis les concentrations décroissent lentement. Le test de circulation s'est achevé avant la fin de l'évolution des courbes de percée.

Deutérium : la courbe de restitution du deutérium est de forme complètement différente, peut-être parce que ce traceur a été injecté en profondeur au niveau d'une seule zone fracturée, et qu'il trace seulement une petite partie du réservoir.

Rhodamine et acide amino-G : les courbes de percée de la rhodamine et de l'acide amino-G montrent aussi des formes différentes, bien que ces deux traceurs aient été injectés de la même manière que l'acide benzoïque et la fluorescéine. Ce fait pourrait être expliqué par le changement des conditions hydrauliques survenu dans le réservoir à partir du 02/10/98, se traduisant par une baisse de la pression d'injection dans GPK1 (40-45 bars à 20 bars) et une redistribution des débits dans le forage GPK1 (cf. paragraphe 4.1 et annexe 1.3).

4.9 CORRECTION DES COURBES BRUTES

Avant toute comparaison ou interprétation quantitative des courbes de restitution, ces dernières doivent être corrigées des effets de densité du fluide, de variation du débit injecté et de recyclage du fluide produit.

Ce travail n'a pas été réalisé pour la fluorescéine et le deutérium. Pour la fluorescéine, l'absence de mesure durant les premiers jours du retour de la fluorescéine ne permet pas de corriger sa courbe de restitution de l'effet de recyclage du fluide. En ce qui concerne le deutérium, la variabilité du fond naturel de deutérium dans le fluide de Soultz limite l'intérêt d'une interprétation quantitative de la courbe de restitution du traceur injecté. Ce problème, ainsi que le problème de la conversion des unités relatives de deutérium (pour mille) en unités absolues, feront l'objet d'une note séparée.

Conversion des unités de concentration : la première étape consiste à convertir les concentrations initialement exprimées en mg/l ou µg/l en une unité indépendante de la température, de la pression et de la salinité du fluide (nombre de moles par kg d'eau ou unité de masse par kg d'eau). Il faut pour cela connaître la densité du fluide à la température de mesure des concentrations de traceurs (20 °C). Les formules de conversion des concentrations et la méthode de calcul de la densité du fluide à partir de la température et de la concentration en chlorure et en calcium ont été présentées au paragraphe 3.9.

Correction de variation du débit injecté : l'échelle de temps des courbes de restitution est transformée en une échelle de masse cumulée de fluide produit. Cette dernière est en effet indépendante des arrêts de circulation et des variations de débit durant le test de circulation. Les données initiales sont les valeurs moyennées sur 15 mn du débit volumique (l/s) et de la température en tête de puits GPK2 (données Socomine), et les valeurs quotidiennes de concentrations en chlorure et calcium interpolées toutes les 15 mn. La densité du fluide (formule de l'annexe 3.9), le débit massique (kg/s) puis la masse cumulée de fluide produit sont alors calculés à chaque pas de temps (15 mn).

Correction du recyclage du fluide (annexe 4.9) : cette correction est effectuée par une méthode de traitement du signal. Le réservoir géothermique est considéré comme un système qui transforme un signal d'entrée en un signal de sortie. Pour le test de traçage, le signal de sortie est constitué par la courbe de restitution du traceur observée au puits de production GPK2 (après correction des effets de densité et de variation de débit). Le signal d'entrée est constitué par le "pulse" d'injection du traceur dans GPK1, suivi par la courbe de restitution du traceur (puisque le fluide produit est réinjecté dans le réservoir avec tout son traceur).

A partir des signaux d'entrée et de sortie, par une opération mathématique appelée déconvolution, il est possible de calculer la fonction qui transforme le signal d'entrée en le signal de sortie : cette fonction est la réponse impulsionnelle du système. C'est la réponse du système à une injection unité de traceur. Une fois que la réponse impulsionnelle du système a été calculée, on peut calculer la réponse du système pour n'importe quel signal d'entrée, en appliquant l'opération inverse de la déconvolution, c'est à dire le produit de convolution du signal d'entrée par la réponse impulsionnelle. En particulier, ceci permet de calculer la réponse du système à l'injection du pulse de traceur sans recyclage : le résultat est la courbe de restitution corrigée de l'effet de la réinjection.

Le calcul a été réalisé sur les courbes de restitution de l'acide benzoïque, de la rhodamine et de l'acide benzoïque (**annexe 4.9**). Le pas de temps choisi pour effectuer le calcul de la réponse impulsionnelle est de 8 h (les données sont donc moyennées sur 8 h), pour des raisons de convergence numérique.

Ajustement du modèle : on observe en premier lieu sur les graphiques l'ajustement entre la courbe de restitution observée et la courbe de restitution calculée par convolution du signal d'entrée réel (pulse + courbe de restitution) par la réponse impulsionnelle : ceci a pour but d'évaluer la précision du calcul de la réponse impulsionnelle. Les ajustements sont convenables pour les trois traceurs.

Différences entre les courbes de restitution observées et corrigées : les graphiques de l'annexe 4.9 montrent aussi la différence entre les courbes de restitution observées et corrigées du recyclage (calculées par convolution d'un signal d'entrée théorique - constitué uniquement du pulse initial de traceur - par la réponse impulsionnelle). La différence n'est nettement visible que pour l'acide benzoïque. En effet, pour la

rhodamine et l'amino-G, la durée d'observation du signal est trop courte pour que l'effet du recyclage se fasse beaucoup sentir, puisque ces deux traceurs ont été injectés environ 1 mois seulement avant la fin du test de circulation. Au contraire, la concentration d'acide benzoïque mesurée à la fin du test de circulation (après 4 mois de circulation environ) est constituée d'un tiers environ d'acide benzoïque recyclé.

Courbes cumulées : à la fin du test de circulation, les courbes cumulées des traceurs indiquent que respectivement 26 % et 6,5 % de l'acide benzoïque et de l'acide amino-G injectés ont été récupérés (contre 35,5 % et 8 % si l'on ne tient pas compte du recyclage).

Comparaison des réponses impulsionnelles : enfin, les réponses impulsionnelles de chaque traceur peuvent être comparées, puisqu'elles représentent la réponse du système à une même injection unitaire de traceur. Les réponses de l'acide benzoïque d'une part, et de la rhodamine et de l'acide amino-g d'autre part n'ont pas la même forme, ce qui reflète probablement le changement des conditions hydrauliques mentionné aux paragraphes 4.1 et 4.8. La réponse impulsionnelle de la rhodamine est très petite comparée à celle de l'amino-G, ce qui suggère que ce traceur a pu subir une forte adsorption et/ou dégradation dans le réservoir.

Conclusion

Trois tests de traçage ont été réalisés durant le test de circulation à différentes étapes du test. Lors du premier test, 150 kg de fluorescéine sodique (uranine) et 292 kg d'acide benzoïque ont été injectés au niveau de la tête de puits de GPK1. Un volume de 40 l de deutérium (soit 8,59 kg d'atomes de deutérium) a aussi été injecté directement au niveau d'une zone fracturée se situant à 3500 m de profondeur, grâce à un système d'injection adapté. Lors des deux tests de traçage suivants, 22,7 kg de rhodamine WT, puis 28,8 kg d'amino-G (deux composés fluorescents) ont été injectés de la même manière que la fluorescéine et l'acide benzoïque.

Le retour des traceurs dans GPK2 a été observé entre 3 et 5 jours après leur injection dans GPK1. Les différences entre les courbes de restitution des traceurs (brutes ou corrigées des effets de la densité du fluide, de la variation du débit de fluide réinjecté dans GPK1, et du recyclage des traceurs) peuvent être dues à des différences de limite de détection des méthodes d'analyse, à des différences dans les conditions d'injection (par exemple pour le deutérium et les autres traceurs), à des différences de comportement du traceur dans le réservoir (adsorption et/ou dégradation de la rhodamine), ou encore à des changements des conditions hydrauliques dans l'aquifère (acide amino-G et rhodamine).

L'existence d'une connexion hydraulique entre les deux puits GPK1 et GPK2 est donc établie. Le test de circulation longue durée, d'une durée de 4 mois, à un débit moyen de 23.6 l/s (85 m³/h), a permis d'obtenir un fluide dont la température en surface a atteint 142 °C.

Les résultats des tests de traçages obtenus en 1998 pourront être utilisés pour la validation de modèles d'écoulement du réservoir géothermique de Soultz-sous-Forêts, avec précautions toutefois en ce qui concerne les autres traceurs que l'acide benzoïque.

En effet, l'analyse des traceurs fluorescents par fluorimétrie dans le fluide géothermal profond du site de Soultz-sous-Forêts reste délicate. Pour un même échantillon, un résultat d'analyse peut varier du simple au double entre deux laboratoires spécialisés. Les causes de différences sont d'origines diverses et pas toujours identifiées. En particulier, la nature physico-chimique du fluide analysé impose de diluer parfois très fortement les échantillons, ce qui pénalise à la fois la limite de détection et la précision des méthodes d'analyse. L'utilisation quantitative des résultats obtenus en 1997 doit être menée avec précautions.

Au contraire, l'analyse de l'acide benzoïque dans le fluide géothermal est très fiable. Cette réussite tient en particulier à la phase de préparation des échantillons, lors de laquelle le traceur est concentré sur un adsorbant. Les résultats acquis en 1997 peuvent être utilisés de façon quantitative avec confiance.

Contrairement à d'autres sites géothermiques, où les traceurs fluorescents donnent toute satisfaction et où leur analyse par fluorimétrie ou chromatographie et détection fluorimétrique ne pose aucun problème, leur utilisation sur le site de Soultz-sous-Forêts n'est pas à recommander à l'avenir. Ces traceurs peuvent être remplacés par des composés anioniques de comportement semblable à l'acide benzoïque, qui ne sont pas analysés par fluorimétrie.

Bibliographie

- Adams, M., Benoit, W. et al. (1989) - The Dixie Valley, Nevada, tracer test. *Geothermal Resources Council Transactions*, vol. 13, p. 215-220.
- Adams, M., Moore, J., Benoit, W., Doughty, C., Bodvarsson, G. (1993) - Chemical tracer test at the Dixie Valley geothermal field, Nevada. *U.S. Department of Energy Report DOE/EE/12929-H1*, Washington, 36 p.
- Aquilina, L., Pauwels, H., Brach, M., Foucher, J.C., Elsass, P., Fouillac, C. (1995) - European hot dry rock project Soultz-sous-Forêts : geochemical monitoring of 1992-1993 injection-production tests. *BRGM Report R 38340*, Orléans, 37 p.
- Czernichowski-Lauriol, I. (1990) - Notice d'utilisation du logiciel TPDEGAZ, version 2.0. *Note Technique BRGM SGN/IRG/90 n°63*, Orléans, 61 p.
- Gérard, A., Baumgärtner, R., Baria, R., Jung, R. (1997) - An attempt toward a conceptual model derived from 1993-1996 hydraulic operations at Soultz. *Proceedings of NEDO International Geothermal Symposium, March 1997, Sendai, Japan*, vol. 2, p. 329-341.
- Gérard, A., Jung, R., Baumgärtner, R., Baria, R., Gandy, T., Tran-viet, T. (1998) - Essais de circulation moyenne durée conduits à Soultz-sous-Forêts en 1997 : résultats majeurs et interprétations préliminaires, perspectives. *Rapport Socomine du 10-02-1998*, Soultz-sous-Forêts, 20 p.
- Kharaka, Y., Gunter, W., Aggarwal, P., Perkins, E., DeBraal, J. (1988) - SOLMINEQ.88 : a computer program for geochemical modeling of water-rock interactions. *U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 88-4227*, Menlo Park, California, 207 p.
- Michard, G. (1989) - Equilibres chimiques dans les eaux naturelles. *Publisud*, Paris, 357 p.
- Parkhurst, D. (1995) - User's guide to PHREEQC, a computer program for speciation, reaction-path, advective-transport, and inverse geochemical calculations. *U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 95-4227*, Lakewood, Colorado, 143 p.
- Pauwels, H. (1995) - Evaluation de traceurs artificiels pour l'étude du transport de solutés dans les eaux souterraines. *Rapport BRGM R 38323*, Orléans, 89 p.

Rose, P., Adams, M. (1994) - The application of Rhodamine WT as a geothermal tracer. *Geothermal Resources Council Transactions*, vol. 18, p. 237-240.

Rose, P., McPherson, P. (1997) - New fluorescent tracers for use in geothermal reservoirs. *Geothermal Ressources Council Transactions*, vol. 21, p. 249-253.

Williams, A. (1997) - Fluid density distribution in a high temperature, stratified thermohaline system: implications for saline hydrothermal circulation. *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 146, p. 121-136.

Liste des annexes

- 0 : Dispositif de forages du site expérimental de Soultz-sous-Forêts.**
-
- 1.1 : Dispositif expérimental mis en œuvre pour le test de circulation.**
1.2 : Température du fluide pompé (Tw2) et réinjecté (Tw1).
1.3 : Rabattement dans GPK2 (drawdown) et pression de réinjection (Pw1).
-
- 2.1 : Prévision du risque de dégazage et de formation de dépôts.**
2.2 : Résultats des analyses de gaz et des mesures de rapports gaz-liquide.
2.3 : Résultats des analyses de résidus solides piégés dans les filtres.
-
- 3.1 : Tableau des échantillons prélevés et des résultats de mesure.**
3.2 : Evolution de la concentration en oxygène dissous.
3.3 : Evolution du potentiel d'oxydo-réduction.
3.4 : Evolution du pH (sur échantillon et en ligne).
3.5 : Evolution de la concentration en chlorure.
3.6 : Evolution de la concentration en calcium.
3.7 : Evolution de l'alcalinité.
3.8 : Evolution de la concentration en silice.
3.9 : Formules de conversion des unités de concentration.
-
- 4.1 : Tableau de synthèse des traçages.**
4.2 : Tableau de synthèse des caractéristiques des traceurs choisis.
4.3 : Dimensionnement des traçages.
4.4 : Préparation de la solution d'acide benzoïque et de fluorescéine.
4.5 : Tableau de synthèse des conditions d'injection des traceurs.
4.6 : Protocole d'échantillonnage du fluide.
4.7 : Résultats d'analyse des traceurs (tableau et figures).
4.8 : Graphique de synthèse des courbes de restitution non corrigées.
4.9 : Correction des courbes de restitution.

Annexe 0

Dispositif de forages du site expérimental de Soultz-sous-Forêts.

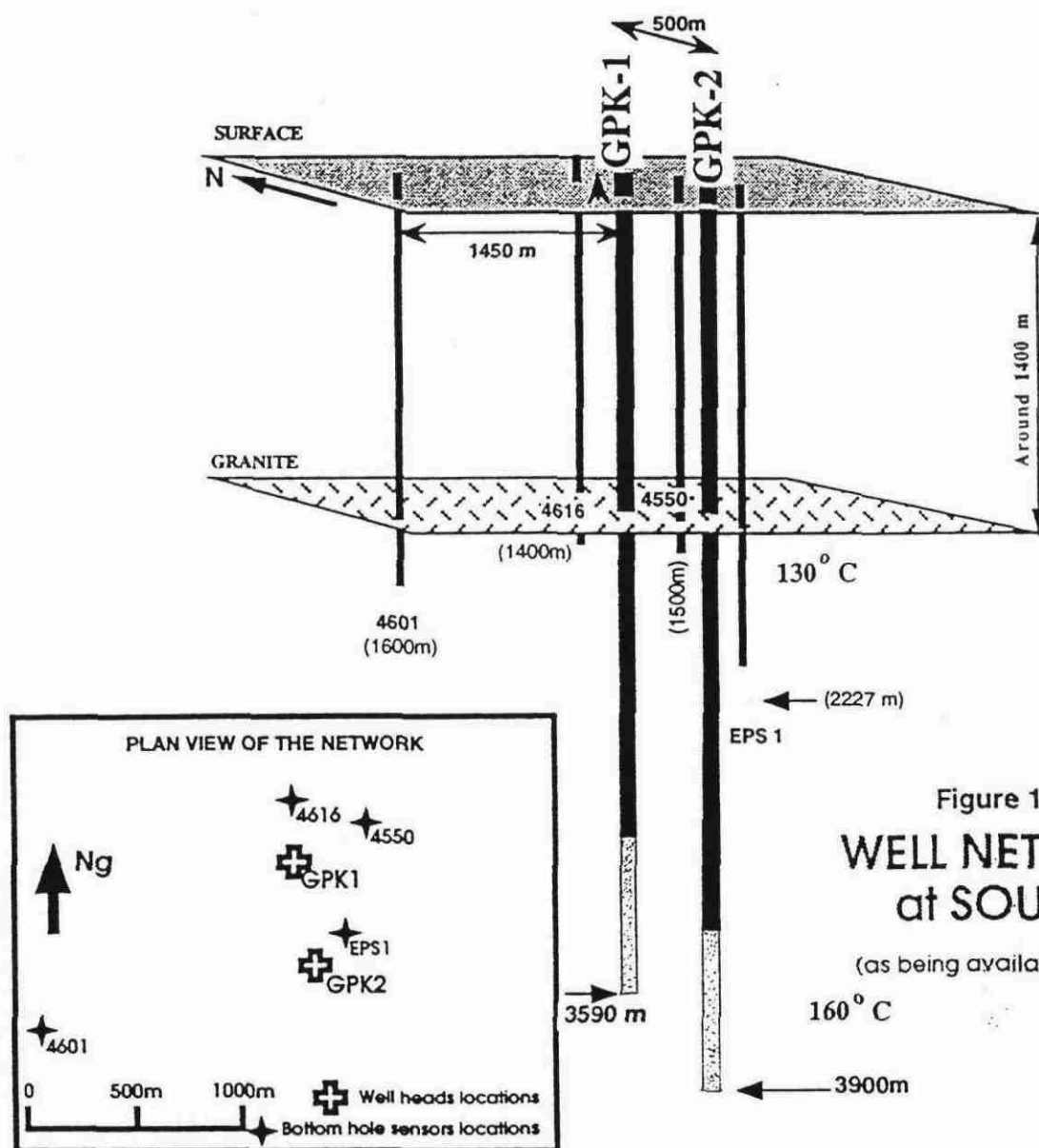


Figure 1
WELL NETWORK
at SOULTZ

(as being available 01/03/95)

160° C

-3900m

Annexes 1

-
- 1.1 : Dispositif expérimental mis en œuvre pour le test de circulation.**
 - 1.2 : Température du fluide pompé (Tw2) et réinjecté (Tw1).**
 - 1.3 : Rabattement dans GPK2 (drawdown) et pression de réinjection (Pw1).**
-

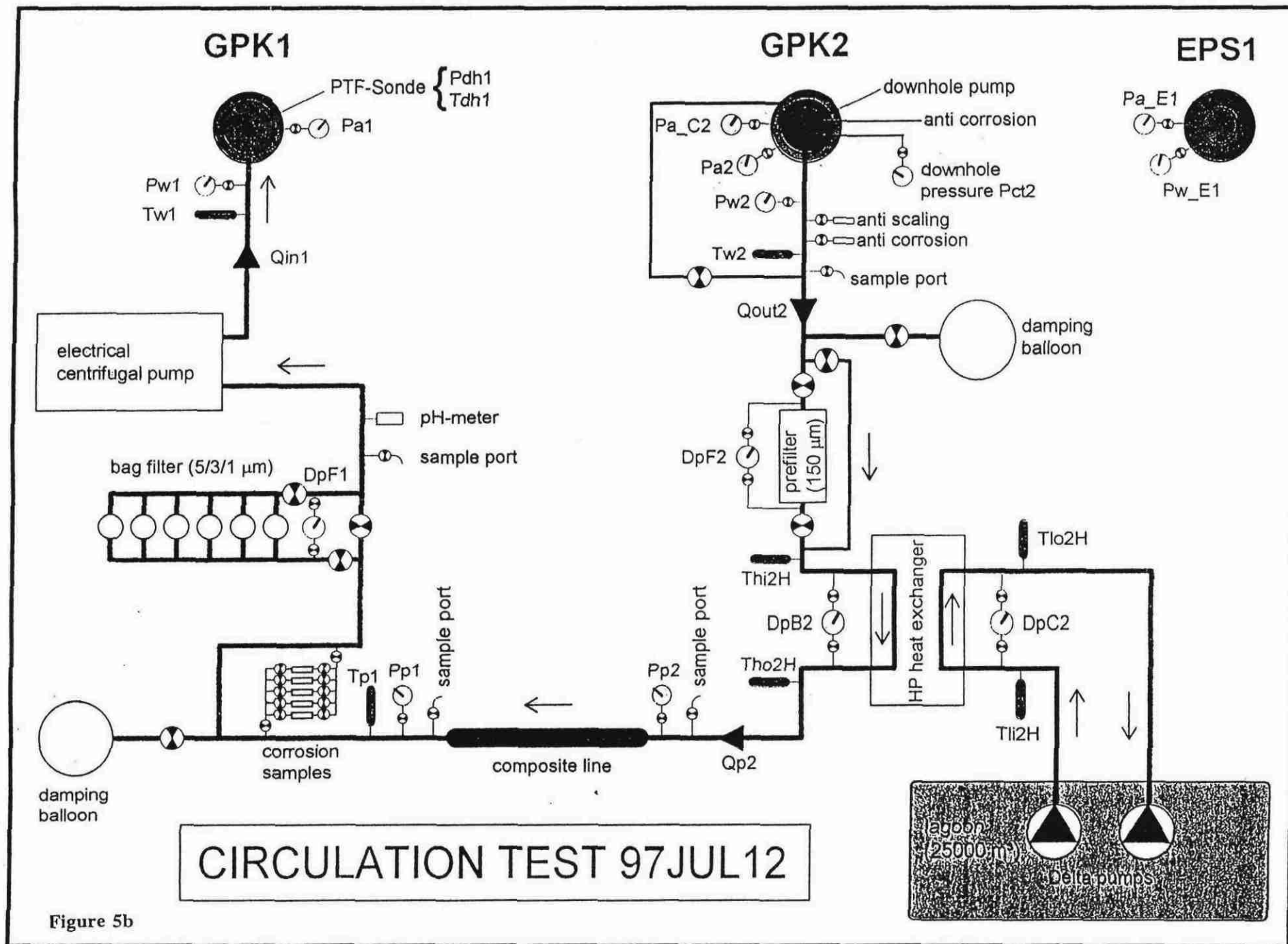
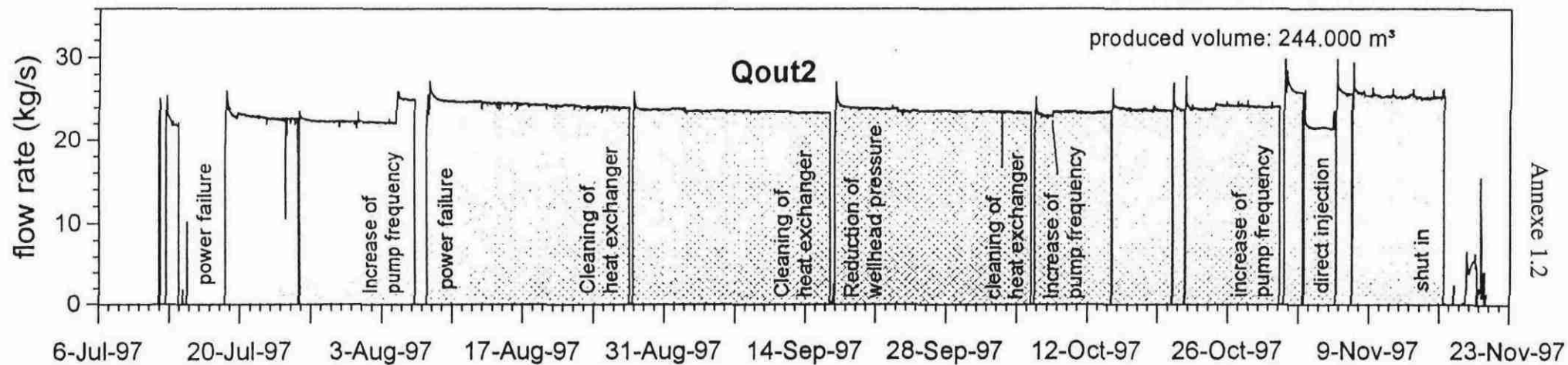
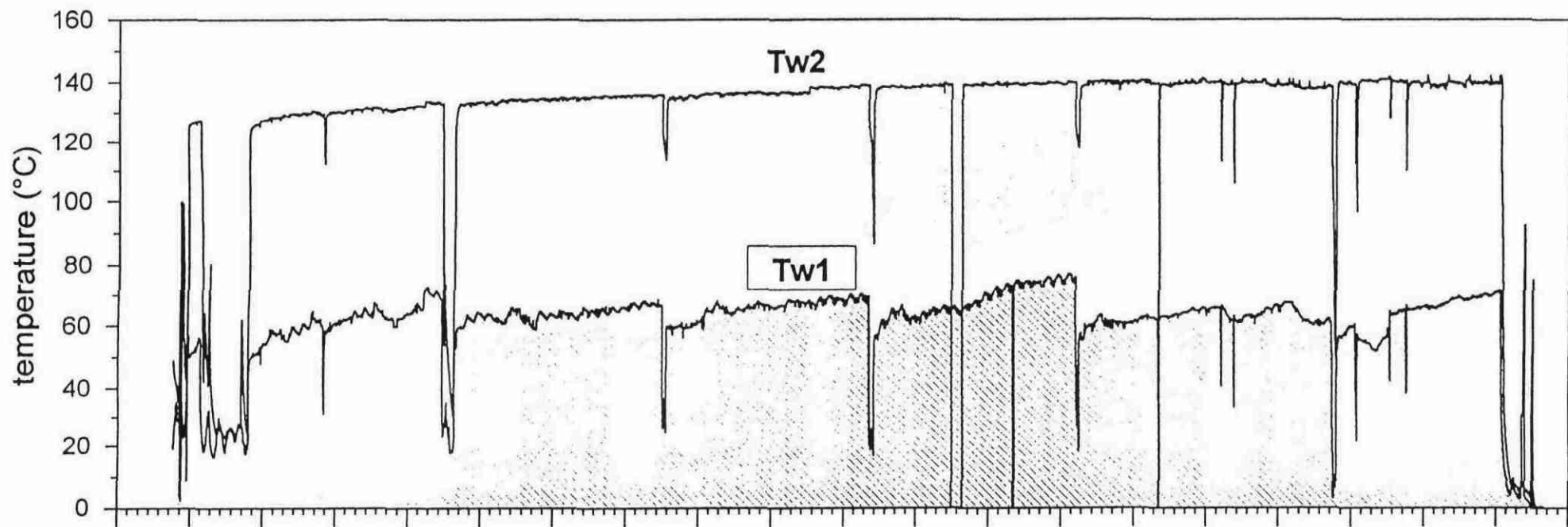


Figure 5b

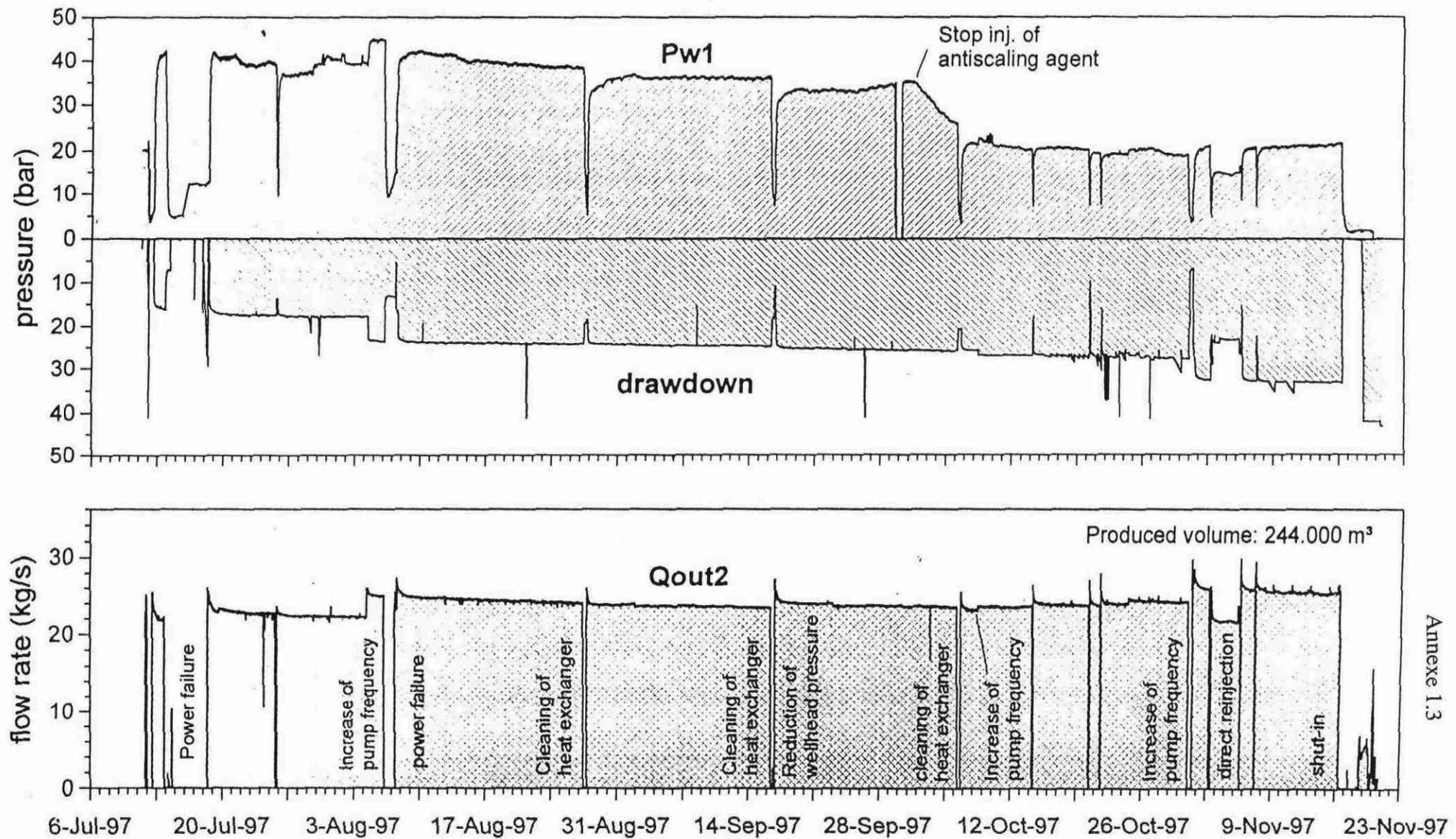
CIRCULATION EXPERIMENT 97JUL12

19-Oct-97
final3.bak



CIRCULATION EXPERIMENT 97JUL12

28-Nov-97
final1.grf



Annexes 2

-
- 2.1 : Prévion du risque de dégazage et de formation de dépôts.**
 - 2.2 : Résultats des analyses de gaz et des mesures de rapports gaz-liquide.**
 - 2.3 : Résultats des analyses de résidus solides piégés dans les filtres.**
-

Evaluation du risque d'apparition de dépôts colmatants (calcite et silice amorphe) dans la boucle géothermique du site de Soultz-sous-Forêts et évaluation de la quantité d'acide chlorhydrique nécessaire pour réduire le risque ou éliminer un éventuel dépôt.

Les données disponibles (tableau 1) sont constituées par :

- a) une analyse complète du fluide de Soultz (prélèvement de fond KP3500 dans le puits GPK 1), comprenant une analyse de la phase gazeuse et la mesure du rapport volumique gaz incondensables / phase liquide à 20 °C, la vapeur s'étant condensée dans la phase liquide lors de la mesure (BRGM) ;
- b) une analyse très partielle de l'eau de l'étang (Centre d'Analyses et de Recherches, Illkirch, pour SOCOMINE) ;
- c) une analyse très partielle de l'eau du réseau d'adduction d'eau potable de Kutzenhausen (Centre d'Analyses et de Recherches, Illkirch, pour SOCOMINE).

Fluide de Soultz (KP3500)			Phase gazeuse		Eaux du réseau et de l'étang		
Composé	Solution (mg/l)	Composé	Gaz libres (% vol.)	Gaz dissous (% vol.)	Composé	Réseau (mg/l)	Etang (mg/l)
pH	5.03	CO2	79	2.1e-2	pH	7.10	8.60
Alcalinité	457.5	N2	11	nd	Alcalinité	23.2	34.16
Cl	61000	H2	7.2	2.7e-5	Dureté	18.4	95
SO4	198	CH4	3.4	3.8e-6			
Na	27900	He	0.45	nd			
K	2810	Ar	0.074	3.7e-5			
Ca	7300	C2H6	0.03	nd			
Mg	112	C3H8	0.0011	nd			
SiO2	210						
B	29	GLR (20 °C)	16.7				
Br	226						
Sr	490						
Ba	12						
Li	177						
F	4.1						

Tableau 1 : Données disponibles pour les calculs hydrogéochimiques. nd = inférieur à la limite de détection, alcalinité totale exprimée en mg/l de HCO₃⁻, dureté totale exprimée en mg/l de Ca.

1) Calcul du pH de fond de puits (GPK1, 160°C, 350 bars) et des indices de saturation en calcite et en silice amorphe.

Deux logiciels permettent de réaliser ce calcul : TPDEGAZ et SOLMINEQ. Ils utilisent deux méthodes de calcul différentes, mais la procédure est la même : ils incluent la phase gazeuse dans la phase liquide, calculent les nouvelles concentrations à la température et à la pression voulue, puis en déduisent le pH et les indices de saturation. SOLMINEQ présente théoriquement un avantage par rapport à TPDEGAZ : il comporte une option permettant de tenir compte de la forte salinité du fluide de Soultz (100 g/l) par l'utilisation des équations de Pitzer. Les résultats sont résumés dans le tableau 2. Le pH mesuré en surface est de 5,03. Les différentes simulations réalisées montrent l'influence des paramètres pression, température, salinité sur le résultat des calculs.

L'analyse du tableau montre tout d'abord que l'influence de la salinité est négligeable. La comparaison des résultats obtenus avec SOLMINEQ et SOLMINEQ + "option Pitzer" montrent que l'on commet une erreur très faible en n'utilisant pas les équations de Pitzer lors des calculs d'équilibre dans le fluide de Soultz. L'utilisation des logiciels TPDEGAZ et PHREEQC, qui n'utilisent pas les équations de Pitzer, est donc justifiée.

On remarque ensuite que les influences de la température et de la pression sur les constantes d'équilibre -et donc sur les valeurs de saturation et de pH calculées- sont beaucoup plus importantes pour TPDEGAZ que pour

SOLMINEQ. Ceci provient du fait que les constantes d'équilibres sont mal connues ou inconnues à haute température et haute pression. Pour les estimer, les deux logiciels utilisent des équations différentes et des bases de données thermodynamiques différentes. Il ne m'est pas possible de déterminer quel est le logiciel qui donne les meilleurs résultats.

Le sens de variation des indices de saturation et du pH est le même lorsque l'on fait varier un paramètre à la fois - heureusement !-. Une augmentation de température fait augmenter le pH, l'indice de saturation en calcite, alors qu'elle fait diminuer l'indice de saturation en silice. Une augmentation de pression fait diminuer plus faiblement le pH et les indices de saturation en calcite et en silice.

Cependant, lorsque une augmentation de pression est combinée à une augmentation de température, les résultats donnés par les deux logiciels divergent fortement. Le sens de variation et les valeurs du pH et des indices de saturation calculées en fond de puits (160 °C et 350 b) sont très différentes :

- pour TPDEGAZ : le pH augmente (5.21), la calcite est sursaturée (0.78), la silice est sous-saturée (-0.49).
- pour SOLMINEQ : le pH diminue (4.85), la calcite est à l'équilibre (0.03), la silice est sous-saturée (-0.40).

Il semble que ce soient les constantes d'équilibres du système carbonate qui sont les plus mal connues à haute température et à haute pression, puisqu'elles donnent les résultats les plus différents. Or, ce sont justement celles dont nous avons besoin ! Quoi qu'il en soit, ce sont les données de TPDEGAZ qui seront conservées pour les calculs concernant le dégazage lors de la remontée du fluide en surface, pour deux raisons : garder une certaine cohérence dans la base de données thermodynamique et les équations utilisées, et parce que les prédictions de ce logiciel ont été validées par comparaison avec des mesures sur des cas réels.

	Pression (Bars)	Température (°C)	pH	SI calcite	SI silice
TPDEGAZ	1	20	4.97	-0.88	0.34
SOLMINEQ			4.98	-0.83	0.59
SOLMINEQ (Pitzer)			4.98	-0.82	0.59
TPDEGAZ	1	160	5.35	1.1	-0.36
SOLMINEQ			5.02	0.31	-0.33
SOLMINEQ (Pitzer)			5.05	0.26	-0.33
TPDEGAZ	350	20	4.78	-1.29	0.24
SOLMINEQ			4.97	-1.02	0.51
SOLMINEQ (Pitzer)			4.96	-1	0.51
TPDEGAZ	350	160	5.21	0.78	-0.49
SOLMINEQ			4.85	0.03	-0.4
SOLMINEQ (Pitzer)			4.85	-0.02	-0.4

Tableau 2 : Résultats des différentes simulations effectuées avec les logiciels TPDEGAZ, SOLMINEQ.88, SOLMINEQ.88 + "option Pitzer". Influence de la température, de la pression, et de la salinité sur le pH et les indices de saturation en calcite et silice amorphe.

2) Calcul du point de bulle, du pH et des indices de saturation lors de l'évolution du fluide jusqu'aux conditions de pression et de température de la tête du forage GPK2 et de l'échangeur à plaques.

Deux simulations ont été réalisées grâce à TPDEGAZ : à partir de la composition de fond calculée précédemment, le programme calcule l'évolution hydrogéochimique du fluide jusqu'aux conditions de pression et de température de la tête du forage GPK2 et de la sortie de l'échangeur à plaques. Les résultats obtenus à la fin des simulations sont regroupés dans le tableau 3. Pour le calcul, la pression finale est fixée à 10 bars, puisque c'est celle que Socomine voudrait imposer dans le circuit de surface.

Lorsque la température finale est fixée à 150 °C, c'est-à-dire quand on simule la remontée du fluide jusqu'en tête de forage, TPDEGAZ calcule un point de bulle de 15 bars absolus. Après dégazage, le fluide est sur-saturé en calcite et sous-saturé en silice amorphe.

Lorsque la température finale est fixée à 60 °C, c'est-à-dire quand on simule la circulation du fluide jusqu'à la sortie de l'échangeur à plaques, le fluide ne dégaze pas. Il devient sous-saturé en calcite, et se met à l'équilibre avec la silice amorphe.

Pression	Température	Dégazage	pH	SI calcite	SI silice
10 bars	150 °C	15 bars	5.49	1.134	-0.323
10 bars	60 °C	non	4.87	-0.45	0.08

Tableau 3 : Résultats des simulations de l'évolution hydrogéochimique du fluide jusqu'aux températures et pressions finales de la tête de forage et de l'échangeur à plaques.

Ces résultats sont à prendre avec beaucoup de précautions, et ce pour plusieurs raisons :

a) comme on l'a vu précédemment, les effets de la température et de la pression sur les constantes d'équilibre sont importants, peuvent être contraires, et sont mal connus ;

b) une prédiction précise nécessite une bonne connaissance du gradient de température et de pression dans le forage et dans l'échangeur. A défaut, le logiciel effectue les calculs en utilisant des gradients linéaires, ce qui peut aboutir à des résultats qui semblent incohérents, comme par exemple la présence d'un dégazage lorsque le fluide se refroidit jusqu'à 150 °C, et l'absence de dégazage si le refroidissement se poursuit jusqu'à 60 °C ;

c) la cinétique des réactions de précipitation-dissolution n'est absolument pas prise en compte.

Sans données supplémentaires de bonne qualité, il n'est donc pas possible d'estimer quantitativement le risque de dépôt de calcite ou de silice. Qualitativement, on peut estimer que si l'on maintient une pression suffisante dans le circuit de surface (au maximum 15 bars dans le pire des cas), il n'y aura pas de dégazage, et que dans ce cas le fluide sera sous-saturé en calcite et à l'équilibre avec la silice. On peut en conclure que le risque de dépôts colmatants semble faible dans cette partie de la boucle géothermique.

3) Calcul de la quantité d'acide chlorhydrique nécessaire pour abaisser le pH du fluide de Soultz dans le circuit de surface (60 °C, 10 b) de 0,5 à 1 unité.

Ces calculs sont effectués en utilisant les logiciels (TPDEGAZ + PHREEQC) et SOLMINEQ. La composition du fluide de Soultz utilisée pour les calculs est celle calculée par TPDEGAZ à 60 °C et 10 b pour PHREEQC, et celle calculée par SOLMINEQ à 60 °C et 10 b pour lui-même. Le fluide de Soultz pouvant être dilué par de l'eau du réseau (eau introduite lors de la dernière intervention sur le puits GPK2), les calculs sont aussi réalisés pour des mélanges du fluide pur avec 25%, 50% et 75% d'eau du réseau. Le nombre de moles d'acide chlorhydrique ajouté par litre de solution, le pH et les indices de saturation obtenus dans chaque cas sont consignés dans le tableau 4.

L'analyse du tableau montre que les résultats obtenus par PHREEQC et SOLMINEQ sont cohérents. L'utilisation de l'option Pitzer de SOLMINEQ ne provoque aucune variation des résultats. Les calculs montrent qu'il faut ajouter 7 mmol/kg d'HCl pour abaisser le pH de 0,9 à 1 unité. Le fluide est alors très sous-saturé en calcite (-2,6 à -2,1). Si l'on veut faire baisser le pH de 0,4 unité seulement, il faut ajouter 4,4 mmol/kg d'HCl, le fluide étant toujours bien sous-saturé en calcite (-1,4 à -1,1). Il faut bien noter que l'ajout d'acide n'intervient pas directement sur la saturation en silice.

Logiciel utilisé	% de fluide pur	pH initial	SI calcite	SI silice	HCl ajouté (mol/kg)	pH final	SI calcite	SI silice
PHREEQC	100%	4.87	-0.45	0.25	7.05 e-3	4	-2.12	0.25
SOLMINEQ	100%	4.80	-0.65	0.26	7.05 e-3	3.8	-2.57	0.26
PHREEQC	100%	4.87	-0.45	0.25	4.37 e-3	4.5	-1.15	0.25
SOLMINEQ	100%	4.80	-0.65	0.26	4.37 e-3	4.4	-1.39	0.26
PHREEQC	75%	4.99	-0.53	0.07	5.64 e-3	4	-2.45	0.07
PHREEQC	75%	4.99	-0.53	0.07	4.03 e-3	4.5	-1.47	0.07
PHREEQC	50%	5.13	-0.67	-0.17	4.05 e-3	4	-2.85	-0.17
PHREEQC	50%	5.13	-0.67	-0.17	3.17 e-3	4.5	-1.87	-0.17
PHREEQC	25%	5.30	-0.94	-0.53	2.33 e-3	4	-3.46	-0.53
PHREEQC	25%	5.30	-0.94	-0.53	1.94 e-3	4.5	-2.47	-0.53

Tableau 4 : Résultats des simulations de titrage du fluide de Soultz par de l'acide chlorhydrique.

Sachant qu'un litre d'acide pur à 30% contient environ 10 moles d'HCl, et pour un débit de circulation de 100 m³/h, il faut compter un débit d'acide à 30 % d'environ 70 l/h pour abaisser le pH de 1 unité, et de 45 l/h pour abaisser le pH de 0,4 unité.

Ceci est le débit maximum. Si le fluide est mélangé avec de l'eau douce, la situation est plus favorable, puisque les quantités d'acide nécessaires pour obtenir le même abaissement de pH sont plus faibles, et que les indices de saturation calculés sont tous plus faibles aussi.

4) Calcul de la quantité d'acide chlorhydrique nécessaire pour abaisser le pH de l'eau de l'étang ou du réseau à 4.

Ce calcul a été réalisé grâce à PHREEQC, à une température de 60 °C. Les données sont insuffisantes pour obtenir une grande précision. En effet, la dureté totale regroupe les concentrations en calcium et en magnésium. Les calculs d'équilibre concernant le système carbonate sont donc faussés. Les résultats obtenus doivent donc être considérés seulement comme un ordre de grandeur de la quantité d'acide nécessaire pour abaisser le pH jusqu'à 4 (tableau 5).

	pH initial	SI calcite initial	HCl ajouté (mol/kg)	pH final	SI final
Etang (60 °C)	8.07	0.55	6.6 e-4	4	-5.72
Réseau (60 °C)	7.03	-1.21	4.8 e-4	4	-8.76

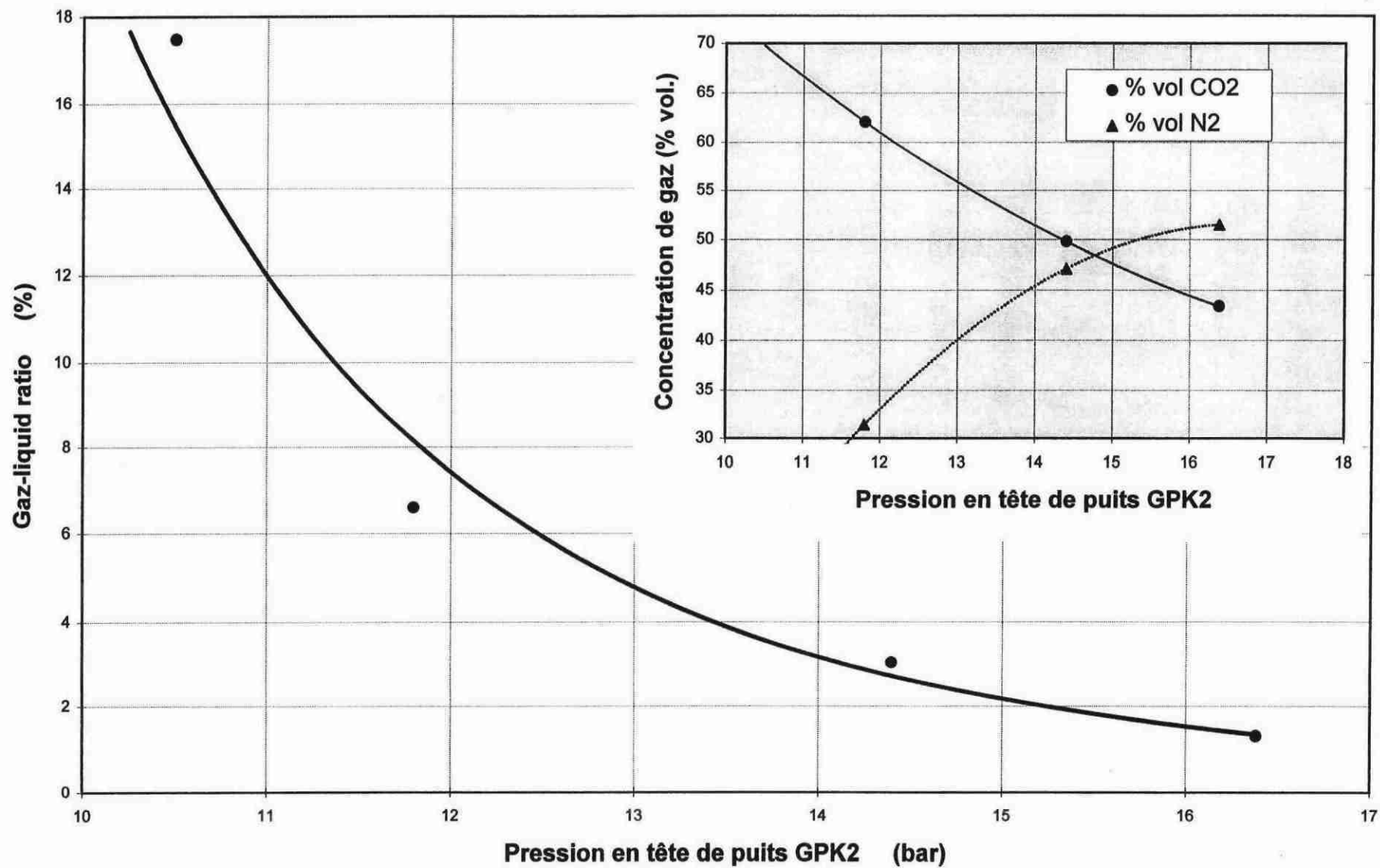
Tableau 5 : Résultats des simulations de titrage de l'eau de l'étang et du réseau par de l'acide chlorhydrique.

L'eau de l'étang est sur-saturée en calcite lorsqu'elle est chauffée à 60 °C, alors que l'eau du réseau est sous-saturée. Le risque de dépôt n'existe donc que lors de l'utilisation de l'eau de l'étang dans l'échangeur. Le calcul montre qu'il est nécessaire d'ajouter environ 0,7 mmol/l d'HCl pour abaisser le pH jusqu'à 4. Pour un débit de 50 m³/h, le débit d'acide chlorhydrique à 30% est donc d'environ 3,5 l/h. La solution obtenue est alors très sous-saturée en calcite, et est capable du point de vue thermodynamique de dissoudre des dépôts de calcite éventuels. Cependant, le calcul ne prend pas en compte la cinétique de la réaction de dissolution des dépôts, qui peut probablement varier dans de grandes proportions en fonction de la nature de ces dépôts et de la composition de l'eau.

Test de traçage - Été 1997, Soultz-sous-Forêts
Tableau des résultats d'analyses de gaz et des calculs de gaz-liquid ratio

Date de prélèvement Opérateur Point de prélèvement Unité	21/07/97 C. Maciag KP1 % en volume	22/07/97 C. Maciag KP1 % en volume	24/07/97 C. Maciag KP1 % en volume	24/10/97 à 11 h M. Brach KP1 % en volume	24/10/97 à 17 h M. Brach KP1 % en volume	03/11/97 M. Brach KP1 % en volume	05/11/97 M. Brach KP1 % en volume
CO2 (+/- 3 %)	18.4	18.4	18.1	62.03	51.38	49.8	43.4
Ar (+/- 3 %)	0.27	0.24	0.25	0.15	0.32	0.18	0.21
O2 (+/- 3 %)	0.22	0.15	0.072	0.07	5.491	0.08	0.73
N2 (+/- 3 %)	67.2	67.7	67.6	31.38	40.07	47.1	51.5
He (+/- 5 %)	1.8	2.3	1.8	1.46	0.68	2.12	2.44
H2 (+/- 5 %)	0.29	0.36	0.3	0.36	0.17	0.46	0.46
H2S (+/- 5 %)	<0.005	<0.005	<0.005	<0.0002	<0.0002	<0.005	<0.005
CH4 (+/- 3 %)	11.6	11.8	12	2.22	1.98	2.6	3.4
C2H6 (+/- 3 %)	0.078	0.079	0.1	0.04	0.03	0.08	0.08
C3H8 (+/- 3 %)	0.048	0.0063	0.081	0.003	0.001	0.005	0.005
C4H10 totaux (+/- 3 %)	0.0017	0.0018	0.0022	0.0005	0.0003	0.001	0.001
isoC4H10 (+/- 3 %)	0.00038	0.00042	0.0004	0.0005	0.0003	0.001	0.001
nC4H10 (+/- 3 %)	0.0014	0.0014	0.0018	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002
C5H12 totaux (+/- 3 %)	<0.0002	0.0004	<0.0002	<0.0002	<0.0002	0.0003	0.002
C6H14 totaux (+/- 3 %)	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002

Date et heure Unité	Pression bar	Débit fluide l/s	Débit gaz l/s	Débit gaz total l/s	Gaz-liquid ratio %	Conc. CO2 %	Conc. N2 %
24/10/97 11:00	11.8	22.1	0.9	1.46	6.6	62.03	31.38
24/10/97 17:00	10.5	24.1	2.59	3.84	17.5		
03/11/97 14:00	14.4	22	0.534	0.671	3.05	49.8	47.1
05/11/97 13:45	16.38	22.42	0.0687	0.2954	1.31	43.4	51.5



**MINERALOGIE DETERMINATIVE PAR
DIFFRACTOMETRIE DES RAYONS X**

Appareillage : SIEMENS D 5000 automatisé

Conditions expérimentales :

- Balayage de 4 à 84° 2 θ
- Vitesse de balayage de 0,02° 2 θ /seconde,
- échantillon tournant

Traitement des spectres : Logiciel Diffrac AT

RESULTATS

Echantillon Sultz - 28-9-97

Dans une fraction amorphe aux rayons X très importante (cf fond continu du spectre très élevé), on peut mettre en évidence des phases minérales cristallisées à l'état de traces :

Halite	NaCl
Calcite	Ca CO ₃
Aragonite	Ca CO ₃
Maghémite	Fe ₂ O ₃
Lépidocrocite	Fe O (OH)
Microcline	Al ₂ O ₃ . K ₂ O . 6 Si O ₂
Illite	(K, H ₃ O) Al ₂ Si ₃ Al O ₁₀ (OH) ₂
Pyrophyllite	Al ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂
Pyrolusite	Mn O ₂
Manganite	Mn O OH

Echantillon Sultz 29-9-97

Fraction amorphe aux rayons X très importante également.

Phases minérales cristallisées en traces :

Halite
 Calcite
 Maghémite
 Dolomite = $\text{Ca Mg} (\text{CO}_3)_2$
 Aragonite
 Si O₂
 Sylvite = K Cl
 Manganite
 Pyrolusite

Identification		Manganèse	
		Unité	g/t
		LDI	20.
		LDS	5000
Labo	Client		
1	SOULTZ 28/9/97		720.
2	SOULTZ 29/9/97		520.

BRGM ANALYSE
ETUDE D1090B -DE971843-

Annexe 2.3

Tout échantillon liquide ou concernant des études d'environnement est détruit un mois après la délivrance des résultats sauf demande contraire du client.

LE(S) ELEMENT(S) SUIVANT(S) ONT ETE ANALYSE(S) DANS LE LABO : CHIMIE

PP: Per.poids 450C SiO₂: Silice Ca: Calcium
Mg: Magnésium
Na: Sodium K: Potassium Fe: Fer total
Mn: Manganèse

L'EVALUATION DE LA TENEUR EN MATIERES ORGANIQUES PAR LA VALEUR DE LA PERTE DE POIDS A 450 DEGRE EST VRAISEMBLABLEMENT SOUS ESTIMEE.

METHODES ANALYTIQUES:

1) Analyses par VOIE HUMIDE:

COLORIMETRIE, GRAVIMETRIE, POTENTIOMETRIE-IONOMETRIE ET VOLUMETRIE :

Eléments concernés: S,P,W,Ba,Ti,Fe(Total ou FeO),Sn(> 0.5 %),C.or,As(> 1 %),Cl,F,Mn,Si, etc...,C et S total par LECO.

2) Analyses par ABSORPTION ATOMIQUE:

Eléments concernés : Cu,Pb,Zn,Ag,As,Ni,V,Li,Sr,Rb,Mo,Fe,Al,Mn,Ge,In,Cd,Na,K,Ca,Mg,etc...

3) Analyses d'OR :

Par ABSORPTION ATOMIQUE (> 100mg/t) et sur demande par FUSION PLOMBEUSE (> 1g/t)

4) Analyses Platinoïdes:

Pt,Pd par FUSION PLOMBEUSE et ABSORPTION ATOMIQUE au four.

Pt,Pd,Ir,Rh,Ru méthode au tellure et ABSORPTION ATOMIQUE au four.

RESULTATS:

Une valeur négative signifie inférieure à la limite inférieure de dosabilité (BINF).

Une valeur égale à la limite supérieure de dosabilité (BSUP) doit être considérée comme égale ou supérieure à cette limite.

UNITES:

g/t = gramme par tonne = mg/kg = ppm

Ech. / N.	Ele.	PP	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn
	UNIT	%	%	%	%	%	%	%	%
	BINF	0.05	1.0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	BSUP	100.00	100.0	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
DEPOT	0001	62.70	4.0	2.00	0.16	1.30	0.20	11.20	0.07

Annexes 3

-
- 3.1 : Tableau des échantillons prélevés et des résultats de mesure.**
 - 3.2 : Evolution de la concentration en oxygène dissous.**
 - 3.3 : Evolution du potentiel d'oxydo-réduction.**
 - 3.4 : Evolution du pH (sur échantillon et en ligne).**
 - 3.5 : Evolution de la concentration en chlorure.**
 - 3.6 : Evolution de la concentration en calcium.**
 - 3.7 : Evolution de l'alcalinité.**
 - 3.8 : Evolution de la concentration en silice.**
 - 3.9 : Formules de conversion des unités de concentration.**
-

Test de traçage - Été 1997, Soultz-sous-Forêts - Tableau des résultats d'analyses de terrain

N° Echantillon	Date	Heure	h. cum	J. cum	Eh	O2	pH	pH cont.	Cl-		Ca2+		Alcalinité (HCO3-)		SiO2		p(20°C)
					mV	mg/l			g/kg	mol/kg H2O	g/kg	mol/kg H2O	meq/l	mmol/kg H2O	mg/l	mmol/kg H2O	
KP3-97-07-1	12/07/97	08:00															
	12/07/97	12:00															
	12/07/97	15:00	0	0	58		5.28		41.04	1.246	5.69	0.152					1.045
KP3-97-07-2	12/07/97	20:00	4														
	13/07/97	00:00	8		78	3.37	5.51		41.79	1.265	6.32	0.169	8.3	8.52			1.046
	13/07/97	04:00	12														
KP3-97-07-3	13/07/97	08:00	16														
	13/07/97	12:00	20		71	3.31	5.51		43.47	1.320	6.58	0.177	3.96	4.07			1.048
	13/07/97	16:00	24	1													
KP3-97-07-4	13/07/97	20:00	28		70	3.07	5.49	6.56	42.77	1.297	6.68	0.179	4.29	4.40			1.047
	stop 21:30	14/07/97	00:00														
		14/07/97	04:00														
		14/07/97	08:00														
		14/07/97	12:00														
		14/07/97	16:00	2													
		14/07/97	20:00														
		15/07/97	00:00														
		15/07/97	04:00														
		15/07/97	08:00														
		15/07/97	12:00														
		15/07/97	16:00	3													
		15/07/97	20:00														
		16/07/97	00:00														
		16/07/97	04:00														
		16/07/97	08:00														
		16/07/97	12:00														
		16/07/97	16:00	4													
		16/07/97	20:00														
		17/07/97	00:00														
		17/07/97	04:00														
		17/07/97	08:00														
		17/07/97	12:00														
		17/07/97	16:00	5													
		17/07/97	20:00														
		18/07/97	00:00														
		18/07/97	04:00														
		18/07/97	08:00														
		18/07/97	12:00														
		18/07/97	15:30	6	95	0.18	5.07		42.412	1.285	6.685	0.179	4.63	4.75	32.6	0.56	1.047
KP3-97-07-5		18/07/97	20:00														
		19/07/97	00:00														

Annexe 3.1

N° Echantillon	Date	Heure	h. cum	J. cum	Eh	O2	pH	pH cont.	Cl-		Ca2+		Alcalinité (HCO3-)		SiO2		p(20°C)
					mV	mg/l			g/kg	mol/kg H2O	g/kg	mol/kg H2O	mg/l	mmol/kg H2O	mg/l	mmol/kg H2O	
KP3-97-07-6	19/07/97	04:00	156	7													
	19/07/97	09:30	160		93	0.35	4.82		42.93	1.319	6.557	0.176	3.95	4.05	36	0.61	1.048
	19/07/97	12:00	164														
KP3-97-07-7	19/07/97	16:30	168		73	0.25	4.97		43.88	1.333	6.037	0.162	4.04	4.15	36.5	0.62	1.049
	19/07/97	20:00	172														
	20/07/97	00:00	176														
	20/07/97	04:00	180	8													
	20/07/97	08:00	184														
KP3-97-07-8	20/07/97	11:30	188		72	0.82	5.55		44.56	1.355	6.227	0.168	3.94	4.05	40.1	0.69	1.050
KP3-97-07-9	20/07/97	18:00	192														
	20/07/97	20:00	196														
	21/07/97	00:00	200	9													
	21/07/97	04:00	204														
	21/07/97	08:00	208														
KP3-97-07-10	21/07/97	11:30	212		70	1.06	5.45		44.765	1.362	6.217	0.167	4.08	4.19	32	0.55	1.050
KP3-97-07-11	21/07/97	17:00	216		56	0.6	5.57		44.784	1.363	6.328	0.173	4.22	4.33	31.7	0.54	1.050
	21/07/97	20:00	220	10													
	22/07/97	00:00	224														
	22/07/97	04:00	228														
	22/07/97	08:00	232														
Kp3-97-07-12	22/07/97	11:30	236	10	44	0.48	5.49		45.352	1.381	6.204	0.167	3.89	4.00			1.051
Kp3-97-07-13	22/07/97	17:30	240		43	0.41	5.56										
	22/07/97	20:00	244														
	23/07/97	00:00	248														
	23/07/97	04:00	252	11													
	23/07/97	08:00	256														
Kp3-97-07-14	23/07/97	11:30	260		48	0.21	5.59		45.688	1.392	6.084	0.164					1.052
	23/07/97	16:00	264														
	23/07/97	20:00	268														
	24/07/97	00:00	272	12													
	24/07/97	04:00	276														
	24/07/97	08:00	280														
Kp3-97-07-15	24/07/97	10:30	284		52	2.77	5.34		45.852	1.398	6.16703	0.166	3.41	3.50			1.052
	24/07/97	16:00	288														
	24/07/97	20:00	292	13													
	25/07/97	00:00	296														
	25/07/97	04:00	300														
	25/07/97	08:00	304														
Kp3-97-07-16	25/07/97	11:00	308		34	0.29	5.73		46.455	1.418	6.2129	0.168	3.58	3.68	29.5423	0.51	1.053
	25/07/97	16:00	312	13													
	25/07/97	20:00	316														
17:15 - 19:45	26/07/97	00:00	320														
	26/07/97	04:00	324														

N° Echantillon	Date	Heure	h. cum	j. cum	Eh	O2	pH	pH cont.	Cl-		Ca2+		Alcalinité (HCO3-)		SiO2		ρ(20°C)
					mV	mg/l			g/kg	mol/kg H2O	g/kg	mol/kg H2O	meq/l	mmol/kg H2O	mg/l	mmol/kg H2O	
Kp3-97-07-17	26/07/97	08:00	328	14													
	26/07/97	11:00	332		79	0.46	5.32		46.424	1.417	6.4091	0.173	3.7	3.80	11.4438	0.20	1.053
	26/07/97	16:00	336														
	26/07/97	20:00	340														
	27/07/97	00:00	344														
	27/07/97	04:00	348														
Kp3-97-07-18	27/07/97	08:00	352	15													
	27/07/97	12:00	356														
	27/07/97	18:00	360						46.475	1.418	6.48	0.175	4.05	4.16			1.053
	27/07/97	20:00	364														
	28/07/97	00:00	368														
	28/07/97	04:00	372														
Kp3-97-07-19	28/07/97	08:00	376	16													
	28/07/97	11:00	380		79	0.27	5.3		47.009	1.436	6.5405	0.177	3.5	3.60			1.054
	28/07/97	16:00	384														
	28/07/97	20:00	388														
	29/07/97	00:00	392														
	29/07/97	04:00	396														
KP3-97-07-20	29/07/97	08:00	400	17													
	29/07/97	11:00	404		79	0.36	5.33		46.77	1.428	6.6958	0.188	3.6	3.70			1.054
	29/07/97	16:00	408														
	29/07/97	20:00	412														
	30/07/97	00:00	416														
	30/07/97	04:00	420														
KP3-97-07-21	30/07/97	08:00	424	18													
	30/07/97	11:00	428		64	0.18	5.34		47.243	1.444	6.158	0.166	4.01	4.12	142.6	2.44	1.054
	30/07/97	16:00	432														
	30/07/97	20:00	436														
	31/07/97	00:00	440														
	31/07/97	04:00	444														
KP3-97-07-22	31/07/97	08:00	448	19													
	31/07/97	11:30	452		90	0.08	5.45		47.411	1.449	6.375	0.172	3.95	4.06	143.5	2.45	1.055
	31/07/97	16:00	456														
	31/07/97	20:00	460														
	01/08/97	00:00	464														
	01/08/97	04:00	468														
KP3-97-08-23	01/08/97	08:00	472	20													
	01/08/97	12:00	476		128	0.05	5.14		47.493	1.452	6.381	0.173	4.14	4.25	141.6	2.42	1.055
	01/08/97	16:00	480														
	01/08/97	20:00	484														
	02/08/97	00:00	488														
	02/08/97	04:00	492														
	02/08/97	08:00	496														

N° Echantillon	Date	Heure	h. cum	J. cum	Eh	O2	pH	pH cont.	Cl-		Ca2+		Alcalinité (HCO3)		SiO2		p(20°C)
					mV	mg/l			g/kg	mol/kg H2O	g/kg	mol/kg H2O	meq/l	mmol/kg H2O	mg/l	mmol/kg H2O	
KP3-97-08-24	02/08/97	12:30	500	21	98	0.1	5.16		47.119	1.440	6.2196	0.169	4	4.11	142	2.43	1.054
	02/08/97	16:00	504														
	02/08/97	20:00	508														
	03/08/97	00:00	512														
	03/08/97	04:00	516														
	03/08/97	08:00	520	22													
KP3-97-08-25	03/08/97	12:00	524		94	0.03	5.02		47.842	1.464	6.325	0.171	3.92	4.03	142.1	2.43	1.055
	03/08/97	16:00	528														
	03/08/97	20:00	532														
	04/08/97	00:00	536														
	04/08/97	04:00	540	23													
	04/08/97	08:00	544														
KP3-97-08-26	04/08/97	12:30	548		76	0.2	5.21		48.011	1.469	6.316	0.180	3.83	3.94	136.1	2.33	1.056
	04/08/97	16:00	552														
	04/08/97	20:00	556														
	05/08/97	00:00	560	24													
	05/08/97	04:00	564														
KP3-97-08-27	05/08/97	08:00	568														
	05/08/97	12:00	572		91	0.06	5.15		48.129	1.473	6.587	0.178	3.85	3.96	136.1	2.33	1.056
	05/08/97	16:00	576														
	05/08/97	20:00	580	25													
	06/08/97	00:00	584														
	06/08/97	04:00	588														
stop 06:15	06/08/97	08:00	592														
	06/08/97	12:00	596														
	06/08/97	16:00	600	26													
	06/08/97	20:00	604														
	07/08/97	00:00	608														
	07/08/97	04:00	612														
restart 10:30	07/08/97	08:00	616														
	07/08/97	12:00	620	27													
	07/08/97	16:00	624														
	07/08/97	20:00	628														
	08/08/97	00:00	632														
	08/08/97	04:00	636														
	08/08/97	08:00	640	27													
KP3-97-08-28	08/08/97	12:30	644		100	0.1	5.11	4.79	48.664	1.500	6.252	0.169	3.72	3.82	145.1	2.48	1.057
	08/08/97	16:00	648														
KP3-97-08-29	08/08/97	20:00	652						48.699								
KP3-97-08-30	09/08/97	00:00	656						48.592								
KP3-97-08-31	09/08/97	04:00	660						48.731								
KP3-97-08-32	09/08/97	08:00	664		112	0.1	5.1	4.79	48.748	1.494	6.234	0.169	3.67	3.77	144.1	2.46	1.057
KP3-97-08-33	09/08/97	13:00	668						48.53								

N° Echantillon	Date	Heure	h. cum	j. cum	Eh	O2	pH	pH cont.	Cl-		Ca2+		Alcalinité (HCO3-)		SiO2		ρ(20°C)
					mV	mg/l			g/kg	mol/kg H2O	g/kg	mol/kg H2O	meq/l	mmol/kg H2O	mg/l	mmol/kg H2O	
KP3-97-08-34	09/08/97	16:45	672	28					48.712								
KP3-97-08-35	09/08/97	20:00	676				5.26		48.497	1.485	6.286	0.173			133.2	2.28	1.057
KP3-97-08-36	10/08/97	00:00	680				5.22		48.582	1.488	6.321	0.171					1.057
KP3-97-08-37	10/08/97	04:00	684				5.18		48.657	1.497	6.29	0.175					1.057
KP3-97-08-38	10/08/97	09:00	688				5.11		48.626	1.490	6.194	0.168					1.057
KP3-97-08-39	10/08/97	11:30	692						48.577								
KP3-97-08-40	10/08/97	16:00	696	29					48.547								
KP3-97-08-41	10/08/97	20:00	700						48.984								
KP3-97-08-42	11/08/97	00:00	704						49.399								
KP3-97-08-43	11/08/97	04:00	708						49.182								
KP3-97-08-44	11/08/97	08:00	712		114		5.17	4.8	49.35	1.514	6.153	0.167	3.7	3.80	134.2	2.30	1.058
KP3-97-08-45	11/08/97	12:00	716						48.977								
KP3-97-08-46	11/08/97	16:00	720	30					49.938								
KP3-97-08-47	11/08/97	20:30	724						49.179								
KP3-97-08-48	12/08/97	00:00	728						49.068								
KP3-97-08-49	12/08/97	04:00	732						49.514								
KP3-97-08-50	12/08/97	08:00	736		106		5.15	4.7	49.145	1.570	6.369	0.173	3.64	3.73	143	2.44	1.061
KP3-97-08-51	12/08/97	12:00	740						49.55								
KP3-97-08-52	12/08/97	16:00	744	31					49.367								
KP3-97-08-53	12/08/97	20:30	748						49.652								
KP3-97-08-54	13/08/97	00:00	752						49.11								
KP3-97-08-55	13/08/97	04:00	756						49.306								
KP3-97-08-56	13/08/97	08:00	760		122		5.1	4.82	49.854	1.537	6.362	0.173	3.7	3.80	138.6	2.37	1.059
KP3-97-08-57	13/08/97	12:00	764						49.487								
KP3-97-08-58	13/08/97	16:00	768	32					49.988								
KP3-97-08-59	13/08/97	20:00	772						48.577								
KP3-97-08-60	14/08/97	00:00	776						49.723								
KP3-97-08-61	14/08/97	04:00	780						49.423								
KP3-97-08-62	14/08/97	08:00	784		136	0.03	5.07	4.78	49.162	1.576	6.262	0.170	3.59	3.68	141.9	2.42	1.061
KP3-97-08-63	14/08/97	12:00	788						49.397								
KP3-97-08-64	14/08/97	16:00	792	33					48.92								
KP3-97-08-65	14/08/97	20:00	796						49.28								
KP3-97-08-66	15/08/97	00:00	800						50.14								
KP3-97-08-67	15/08/97	04:00	804						49.714								
KP3-97-08-68	15/08/97	08:00	808		109	0.07	5.09	4.78	49.314	1.513	6.361	0.173	3.72	3.82			1.058
KP3-97-08-69	15/08/97	12:00	812						49.141								
KP3-97-08-70	15/08/97	16:00	816	34					49.434								
KP3-97-08-71	15/08/97	20:00	820						49.238								
KP3-97-08-72	16/08/97	00:00	824						49.579								
KP3-97-08-73	16/08/97	04:00	828						49.749								
KP3-97-08-74	16/08/97	08:00	832		112	0.11	5.16	4.79	49.409								
KP3-97-08-75	16/08/97	12:00	836						49.254								
KP3-97-08-76	16/08/97	16:00	840	35					49.718								

N° Echantillon	Date	Heure	h. cum	j. cum	Eh	O2	pH	pH cont.	Cl-		Ca2+		Alcalinité (HCO3-)		SiO2		p(20°C)
					mV	mg/l			g/kg	mol/kg H2O	g/kg	mol/kg H2O	meq/l	mmol/kg H2O	mg/l	mmol/kg H2O	
KP3-97-08-77	16/08/97	20:00	844	36													
	17/08/97	00:00	848														
KP3-97-08-78	17/08/97	04:00	852						50.232								
	17/08/97	08:00	856														
KP3-97-08-79	17/08/97	12:00	860						49.664								
KP3-97-08-80	17/08/97	16:00	864	37					49.437								
KP3-97-08-81	17/08/97	20:00	868						50.047								
KP3-97-08-82	18/08/97	00:00	872						49.891								
KP3-97-08-83	18/08/97	04:00	876						49.808								
KP3-97-08-84	18/08/97	08:00	880		96	0.45	5.16	4.8	49.237	1.517	6.367	0.173	1.75	1.80	135.3	2.31	1.058
KP3-97-08-85	18/08/97	12:00	884	38					50.181								
KP3-97-08-86	18/08/97	16:00	888						50.311								
KP3-97-08-87	18/08/97	20:00	892						49.836								
KP3-97-08-88	19/08/97	00:00	896						49.797								
KP3-97-08-89	19/08/97	04:00	900						49.607								
KP3-97-08-90	19/08/97	08:00	904	39	106	0.73	5.23	4.77	49.704	1.526	6.398	0.174	2.92	3.00	135.3	2.31	1.059
KP3-97-08-91	19/08/97	12:00	908						49.988								
KP3-97-08-92	19/08/97	16:00	912						50.133								
	19/08/97	20:00	916														
KP3-97-08-93	20/08/97	00:00	920						50.021								
	20/08/97	04:00	924	40													
KP3-97-08-94	20/08/97	08:00	928		108	0.42	5.12	4.78	49.862	1.539	6.385	0.173	2.8	2.88	136.425	2.33	1.059
KP3-97-08-95	20/08/97	12:00	932						49.938								
	20/08/97	16:00	936														
KP3-97-08-96	20/08/97	20:00	940						49.542								
KP3-97-08-97	21/08/97	00:00	944	41					50.558								
KP3-97-08-98	21/08/97	04:00	948						49.944								
KP3-97-08-99	21/08/97	08:00	952		98	0.32	5.15	4.77	50.539	1.554	6.37	0.173	2.69	2.77	134.24	2.30	1.060
KP3-97-08-100	21/08/97	12:00	956						50.094								
KP3-97-08-101	21/08/97	16:00	960														
KP3-97-08-102	21/08/97	20:00	964	42					49.897								
KP3-97-08-103	22/08/97	00:00	968						50.05								
KP3-97-08-104	22/08/97	04:00	972						50.429								
KP3-97-08-105	22/08/97	08:00	976		99	0.28	5.16	4.77	50.216	1.543	6.55	0.178	4.6	4.73	141.7	2.42	1.059
KP3-97-08-106	22/08/97	12:00	980						50.072								
	22/08/97	16:00	984	43													
KP3-97-08-107	22/08/97	20:00	988						50.005								
KP3-97-08-108	23/08/97	00:00	992						50.03								
KP3-97-08-109	23/08/97	04:00	996						49.163								
KP3-97-08-110	23/08/97	08:00	1000		100	0.06	5.21	4.78	50.382	1.548	6.514	0.178	3.92	4.03	141.7	2.42	1.060
KP3-97-08-111	23/08/97	12:00	1004	44					49.898								
KP3-97-08-112	23/08/97	16:00	1008						50.644								
KP3-97-08-113	23/08/97	20:00	1012						49.961								

N° Echantillon	Date	Heure	h. cum	j. cum	Eh	O2	pH	pH cont.	Cl-		Ca2+		Alcalinité (HCO3-)		SiO2		p(20°C)
					mV	mg/l			g/kg	mol/kg H2O	g/kg	mol/kg H2O	meq/l	mmol/kg H2O	mg/l	mmol/kg H2O	
KP3-97-08-114	24/08/97	00:00	1016	43					50.63								
KP3-97-08-115	24/08/97	04:00	1020						49.12								
KP3-97-08-116	24/08/97	08:00	1024		110	0.1	5.09	4.79	50.649	1.557	6.461	0.176	3.64	3.74	134.7	2.30	1.060
KP3-97-08-117	24/08/97	12:00	1028						49.736								
KP3-97-08-118	24/08/97	16:00	1032						51.235								
KP3-97-08-119	24/08/97	20:00	1036	44					49.888								
KP3-97-08-120	25/08/97	00:00	1040						50.122								
KP3-97-08-121	25/08/97	04:00	1044						50.081								
KP3-97-08-122	25/08/97	08:00	1048		120	0.05	5.06	4.79	50.241	1.544	6.428	0.175	3.88	3.99	130.8	2.24	1.059
KP3-97-08-123	25/08/97	12:00	1052						50.279								
KP3-97-08-124	25/08/97	16:00	1056	45					50.337								
KP3-97-08-125	25/08/97	20:00	1060						50.228								
KP3-97-08-126	26/08/97	00:00	1064						50.133								
KP3-97-08-127	26/08/97	04:00	1068						50.128								
KP3-97-08-128	26/08/97	08:00	1072		75	0	5.13	4.78	50.597	1.556	6.473	0.176	3.81	3.92	129.4	2.21	1.060
KP3-97-08-129	26/08/97	12:00	1076	46					50.246								
KP3-97-08-130	26/08/97	16:00	1080						50.153								
KP3-97-08-131	26/08/97	20:00	1084						50.805								
KP3-97-08-132	27/08/97	00:00	1088						50.038								
KP3-97-08-133	27/08/97	04:00	1092						50.295								
KP3-97-08-134	27/08/97	08:00	1096	47	103	0.08	5.1	4.78	49.462	1.518	6.643	0.183	3.61	3.71	142.1	2.43	1.058
KP3-97-08-135	27/08/97	10:50	1100						49.7								
stop 11:45	27/08/97	16:00	1104														
restart 20:15	27/08/97	20:00	1108														
KP3-97-08-136	28/08/97	00:00	1112						49.514								
	28/08/97	04:00	1116	48													
KP3-97-08-137	28/08/97	08:00	1120		118	0.07	5.06	4.78	50.425	1.550	6.419	0.174	3.77	3.88	141.9	2.43	1.060
KP3-97-08-138	28/08/97	12:00	1124						50.158								
KP3-97-08-139	28/08/97	16:00	1128						51.497								
KP3-97-08-140	28/08/97	20:00	1132						50.274								
KP3-97-08-141	29/08/97	00:00	1136	49					50.659								
KP3-97-08-142	29/08/97	04:00	1140						50.516								
KP3-97-08-143	29/08/97	08:00	1144		100	0.27	5.12	4.79	50.382	1.548	6.58	0.179	3.82	3.93	120.5	2.06	1.060
KP3-97-08-144	29/08/97	12:00	1148						50.374								
KP3-97-08-145	29/08/97	16:00	1152						50.845								
KP3-97-08-146	29/08/97	20:00	1156	50					51.611								
KP3-97-08-147	30/08/97	00:00	1160						50.444								
KP3-97-08-148	30/08/97	04:00	1164						50.537								
KP3-97-08-149	30/08/97	08:00	1168		81		5.1	4.78	50.51	1.553	6.561	0.178	4.73	4.86	95.65	1.64	1.060
KP3-97-08-150	30/08/97	12:00	1172						51.031								
KP3-97-08-151	30/08/97	16:00	1176	51					51.112								
KP3-97-08-152	30/08/97	20:00	1180						50.747								
KP3-97-08-153	31/08/97	00:00	1184						50.778								

N° Echantillon	Date	Heure	h. cum	j. cum	Eh	O2	pH	pH cont.	Cl-		Ca2+		Alcalinité (HCO3-)		SiO2		p(20°C)
					mV	mg/l			g/kg	mol/kg H2O	g/kg	mol/kg H2O	meq/l	mmol/kg H2O	mg/l	mmol/kg H2O	
KP3-97-08-154	31/08/97	04:00	1188	50													
KP3-97-08-155	31/08/97	08:00	1192								6.5						
KP3-97-08-156	31/08/97	12:00	1196														
KP3-97-08-157	31/08/97	16:00	1200						49.335								
KP3-97-08-158	31/08/97	20:00	1204						49.098								
KP3-97-09-159	01/09/97	00:00	1208	51					48.721								
KP3-97-09-160	01/09/97	04:00	1212						48.951								
KP3-97-09-161	01/09/97	08:00	1216		80	0.11	5.07	4.79	51.386	1.582	6.566	0.179	3.97	4.08	108.4	1.86	1.061
KP3-97-09-162	01/09/97	12:00	1220						48.445								
KP3-97-09-163	01/09/97	16:00	1224						49.912								
KP3-97-09-164	01/09/97	20:00	1228	52					49.248								
KP3-97-09-165	02/09/97	00:00	1232						47.801								
KP3-97-09-166	02/09/97	04:00	1236						48.884								
KP3-97-09-167	02/09/97	08:00	1240		84	0.12	5.12	4.79	49.796	1.529	6.643	0.184	4.18	4.30			1.059
KP3-97-09-168	02/09/97	12:00	1244						49.3								
KP3-97-09-169	02/09/97	16:00	1248	53					48.996								
KP3-97-09-170	02/09/97	20:00	1252						50.666								
KP3-97-09-171	03/09/97	00:00	1256						49.09								
KP3-97-09-172	03/09/97	04:00	1260						50.016								
KP3-97-09-173	03/09/97	08:00	1264		100	0.01	5.05	4.79	49.294	1.512	6.621	0.180	4.23	4.35	113.6	1.94	1.058
KP3-97-09-174	03/09/97	12:00	1268	54													
KP3-97-09-175	03/09/97	16:00	1272						50.5								
KP3-97-09-176	03/09/97	20:00	1276						48.809								
KP3-97-09-177	04/09/97	00:00	1280						50.819								
KP3-97-09-178	04/09/97	04:00	1284						51.234								
KP3-97-09-179	04/09/97	08:00	1288	55	110	0.11	4.92	4.8	51.111	1.573	6.491	0.177	4.38	4.50	134	2.29	1.061
KP3-97-09-180	04/09/97	12:00	1292						51.665								
KP3-97-09-181	04/09/97	16:00	1296						51.503								
KP3-97-09-182	04/09/97	20:00	1300						49.895								
KP3-97-09-183	05/09/97	00:00	1304						51.316								
KP3-97-09-184	05/09/97	04:00	1308	56					51.166								
KP3-97-09-185	05/09/97	08:00	1312		120	0.01	5.06	4.8	50.813	1.563	6.457	0.176	4.48	4.61	124.6	2.13	1.060
KP3-97-09-186	05/09/97	12:00	1316						51.511								
KP3-97-09-187	05/09/97	16:00	1320						51.247								
KP3-97-09-188	05/09/97	20:00	1324						51.233								
KP3-97-09-189	06/09/97	00:00	1328	57					50.941								
KP3-97-09-190	06/09/97	04:00	1332						51.257								
KP3-97-09-191	06/09/97	08:00	1336		100	0.1	5.02	4.77	50.599	1.556	6.47	0.176	4.32	4.44	127.3	2.18	1.060
KP3-97-09-192	06/09/97	12:00	1340						51.484								
KP3-97-09-193	06/09/97	16:00	1344						51.347								
KP3-97-09-194	06/09/97	20:00	1348	58					50.352								
KP3-97-09-195	07/09/97	00:00	1352						51.236								
KP3-97-09-196	07/09/97	04:00	1356						51.346								

Annexe 3.1

N° Echantillon	Date	Heure	h. cum	j. cum	Eh	O2	pH	pH cont.	Cl-		Ca2+		Alcalinité (HCO3-)		SiO2		p(20°C)
					mV	mg/l			g/kg	mol/kg H2O	g/kg	mol/kg H2O	meq/l	mmol/kg H2O	mg/l	mmol/kg H2O	
KP3-97-09-197	07/09/97	08:00	1360	57	100	0	5	4.78	51.562	1.588	6.588	0.179	4.33	4.45	110.2	1.89	1.062
KP3-97-09-198	07/09/97	12:00	1364						51.243								
KP3-97-09-199	07/09/97	16:00	1368						51.372								
KP3-97-09-200	07/09/97	20:00	1372						51.212								
KP3-97-09-201	08/09/97	00:00	1376						51.314								
KP3-97-09-202	08/09/97	04:00	1380	58					51.536								
KP3-97-09-203	08/09/97	08:00	1384		100	0	5.03	4.79	50.649	1.557	6.548	0.179	4.45	4.58	114.3	1.96	1.060
KP3-97-09-204	08/09/97	12:00	1388						51.198								
KP3-97-09-205	08/09/97	16:00	1392						51.73								
KP3-97-09-206	08/09/97	20:00	1396						51.793								
KP3-97-09-207	09/09/97	00:00	1400	59					51.085								
KP3-97-09-208	09/09/97	04:00	1404						51.387								
KP3-97-09-209	09/09/97	08:00	1408		104	0	5.07	4.8	51.283	1.579	6.539	0.178	4.27	4.39	121.6	2.08	1.061
KP3-97-09-210	09/09/97	12:00	1412						50.339								
KP3-97-09-211	09/09/97	16:00	1416						51.376								
KP3-97-09-212	09/09/97	20:00	1420	60					50.48								
KP3-97-09-213	10/09/97	00:00	1424						50.562								
KP3-97-09-214	10/09/97	04:00	1428						51.066								
KP3-97-09-215	10/09/97	08:00	1432		110	0.32	4.98	4.79	51.458	1.584	6.5292	0.178	4.81	4.95	123.3	2.11	1.061
KP3-97-09-216	10/09/97	12:00	1436						51.079								
KP3-97-09-217	10/09/97	16:00	1440	61					51.085								
KP3-97-09-218	10/09/97	20:00	1444						52.056								
KP3-97-09-219	11/09/97	00:00	1448						51.343								
KP3-97-09-220	11/09/97	04:00	1452						51.413								
KP3-97-09-221	11/09/97	08:00	1456		98	0.05	4.98	4.78	50.884	1.565	6.3971	0.174	4.59	4.72	119	2.04	1.060
KP3-97-09-222	11/09/97	12:00	1460	62					51.48								
KP3-97-09-223	11/09/97	16:00	1464						51.153								
KP3-97-09-224	11/09/97	20:00	1468						51.455								
KP3-97-09-225	12/09/97	00:00	1472						51.474								
KP3-97-09-226	12/09/97	04:00	1476						51.539								
KP3-97-09-227	12/09/97	08:00	1480	63	104	0.05	5	4.79	51.204	1.576	6.572	0.179	4.57	4.70	137.51	2.35	1.061
KP3-97-09-228	12/09/97	12:00	1484						51.383								
KP3-97-09-229	12/09/97	16:00	1488						51.385								
KP3-97-09-230	12/09/97	20:00	1492						51.031								
KP3-97-09-231	13/09/97	00:00	1496						51.342								
KP3-97-09-232	13/09/97	04:00	1500	63					51.524								
KP3-97-09-233	13/09/97	08:00	1504		87	0.004	5.05	4.79	51.265	1.578	6.59	0.179	4.53	4.66	134.24	2.30	1.061
KP3-97-09-234	13/09/97	12:00	1508						51.596								
KP3-97-09-235	13/09/97	16:00	1512						51.747								
	13/09/97	20:00	1516														
	14/09/97	00:00	1520														
	14/09/97	04:00	1524														
	14/09/97	08:00	1528														

N° Echantillon	Date	Heure	h. cum	J. cum	Eh	O2	pH	pH cont.	Cl-		Ca2+		Alcalinité (HCO3-)		SiO2		ρ(20°C)
					mV	mg/l			g/kg	mol/kg H2O	g/kg	mol/kg H2O	meq/l	mmol/kg H2O	mg/l	mmol/kg H2O	
KP3-97-09-236	14/09/97	12:00	1532	64													
	14/09/97	16:00	1536														
	14/09/97	20:00	1540						51.384								
	15/09/97	00:00	1544						51.095								
	15/09/97	04:00	1548						51.172								
KP3-97-09-237	15/09/97	08:00	1552	65	105	0.02	4.81	4.79	51.758	1.595	6.5591	0.179	4.15	4.27	147	2.52	1.062
KP3-97-09-238	15/09/97	12:00	1556						50.909								
KP3-97-09-239	15/09/97	16:00	1560						51.586								
KP3-97-09-240	15/09/97	20:00	1564						51.762								
KP3-97-09-241	16/09/97	00:00	1568														
KP3-97-09-242	16/09/97	04:00	1572	66													
KP3-97-09-243	16/09/97	08:00	1576		132	0.01	4.9	4.8	51.151	1.574	6.52	0.177	4.31	4.43	147	2.52	1.061
KP3-97-09-244	16/09/97	12:00	1580						51.019								
KP3-97-09-245	16/09/97	16:00	1584						51.663								
stop 11:00	16/09/97	20:00	1588														
restart 21:30	17/09/97	00:00	1592	67													
KP3-97-09-246	17/09/97	04:00	1596														
KP3-97-09-247	17/09/97	08:00	1600		127	0.04	5.1	4.81	51.457	1.584	6.69	0.182	4.45	4.58	141	2.41	1.061
KP3-97-09-248	17/09/97	12:00	1604						51.695								
KP3-97-09-249	17/09/97	16:00	1608						51.393								
KP3-97-09-250	17/09/97	20:00	1612	68					51.666								
KP3-97-09-251	18/09/97	00:00	1616						50.294								
KP3-97-09-252	18/09/97	04:00	1620						51.698	1.593	6.625	0.185	5.53	5.69	140.6	2.41	1.062
KP3-97-09-253	18/09/97	08:00	1624		102	0	5.15	4.78	51.782								
KP3-97-09-254	18/09/97	12:00	1628						51.754								
KP3-97-09-255	18/09/97	16:00	1632	69					51.898								
KP3-97-09-256	18/09/97	20:00	1636						51.811								
KP3-97-09-257	19/09/97	00:00	1640						51.665								
KP3-97-09-258	19/09/97	04:00	1644						51.636	1.594	6.533	0.178	4.7	4.83	131	2.24	1.062
KP3-97-09-259	19/09/97	08:00	1648		94	0	5.06	4.78	51.361								
KP3-97-09-260	19/09/97	12:00	1652	70													
KP3-97-09-261	19/09/97	16:00	1656														
KP3-97-09-262	19/09/97	20:00	1660														
KP3-97-09-263	20/09/97	00:00	1664														
KP3-97-09-264	20/09/97	04:00	1668														
KP3-97-09-265	20/09/97	08:00	1672	70	90	0	5.06	4.75	51.382	1.582	6.609	0.180	4.42	4.55	134	2.29	1.061
KP3-97-09-266	20/09/97	12:00	1676														
KP3-97-09-267	20/09/97	16:00	1680														
KP3-97-09-268	20/09/97	20:00	1684														
KP3-97-09-269	21/09/97	00:00	1688														
KP3-97-09-270	21/09/97	04:00	1692	70													
KP3-97-09-271	21/09/97	08:00	1696		97	0	5.07	4.78	51.685	1.593	6.552	0.179	4.64	4.77	148.4	2.54	1.062
KP3-97-09-272	21/09/97	12:00	1700														
KP3-97-09-273	21/09/97	12:00	1700														

N° Echantillon	Date	Heure	h. cum	J. cum	Eh	O2	pH	pH cont.	Cl-		Ca2+		Alcalinité (HCO3-)		SiO2		ρ(20°C)
					mV	mg/l			g/kg	mol/kg H2O	g/kg	mol/kg H2O	meq/l	mmol/kg H2O	mg/l	mmol/kg H2O	
KP3-97-09-274	21/09/97	16:00	1704	71													
KP3-97-09-275	21/09/97	20:00	1708						51.85								
KP3-97-09-276	22/09/97	00:00	1712						51.93								
KP3-97-09-277	22/09/97	04:00	1716						51.68								
KP3-97-09-278	22/09/97	08:00	1720		108	0	5.16	4.79	52.41	1.616	6.69	0.183	4.66	4.79	145.2	2.49	1.063
KP3-97-09-279	22/09/97	12:00	1724						51.46								
KP3-97-09-280	22/09/97	16:00	1728	72					51.67								
KP3-97-09-281	22/09/97	20:00	1732						51.56								
KP3-97-09-282	23/09/97	00:00	1736						51.97								
KP3-97-09-283	23/09/97	04:00	1740						52.49								
KP3-97-09-284	23/09/97	08:00	1744		80	0	5.19	4.79	51.89	1.599	6.735	0.184	4.19	4.31	149.5	2.56	1.062
KP3-97-09-285	23/09/97	12:00	1748						51.04								
KP3-97-09-286	23/09/97	16:00	1752	73					51.206								
KP3-97-09-287	23/09/97	20:00	1756						51.71								
KP3-97-09-288	24/09/97	00:00	1760						52.1								
KP3-97-09-289	24/09/97	04:00	1764						50.78								
KP3-97-09-290	24/09/97	08:00	1768		120	0	5.13	4.79	52.04	1.642	6.72	0.183	4.19	4.30	152.8	2.61	1.064
KP3-97-09-291	24/09/97	12:00	1772						51.27								
KP3-97-09-292	24/09/97	16:00	1776	74					51.45								
KP3-97-09-293	24/09/97	20:00	1780						52.37								
KP3-97-09-294	25/09/97	00:00	1784						52.069								
KP3-97-09-295	25/09/97	04:00	1788						51.69								
KP3-97-09-296	25/09/97	08:00	1792		114	0	5.13	4.78	52.09	1.656	6.928	0.189	4.86	4.99	151.7	2.59	1.065
KP3-97-09-297	25/09/97	12:00	1796						52.18								
KP3-97-09-298	25/09/97	16:00	1800	75					51.755								
KP3-97-09-299	25/09/97	20:00	1804						51.45								
KP3-97-09-300	26/09/97	00:00	1808						52.92								
KP3-97-09-301	26/09/97	04:00	1812						52.26								
KP3-97-09-302	26/09/97	08:00	1816		80	0	5.07	4.79	51.96	1.613	6.8	0.185	4.64	4.77	148.4	2.54	1.063
KP3-97-09-303	26/09/97	12:00	1820						51.52								
KP3-97-09-304	26/09/97	16:00	1824	76					52.01								
KP3-97-09-305	26/09/97	20:00	1828						52.05								
KP3-97-09-306	27/09/97	00:00	1832						52.372								
KP3-97-09-307	27/09/97	04:00	1836						52.2								
KP3-97-09-308	27/09/97	08:00	1840		89	0	5	4.8	51.87	1.598	6.79	0.185	4.78	4.92	148.4	2.54	1.062
KP3-97-09-309	27/09/97	12:00	1844						52.06								
KP3-97-09-310	27/09/97	16:00	1848	77					52.96								
KP3-97-09-311	27/09/97	20:00	1852						52.467								
KP3-97-09-312	28/09/97	00:00	1856						51.903								
KP3-97-09-313	28/09/97	04:00	1860						51.751								
KP3-97-09-314	28/09/97	08:00	1864		96	0	4.92	4.8	52.494	1.619	6.64	0.181	4.57	4.70	149.5	2.56	1.063
KP3-97-09-315	28/09/97	12:00	1868						51.54								
KP3-97-09-316	28/09/97	16:00	1872	78					51.818								

N° Echantillon	Date	Heure	h. cum	j. cum	Eh	O2	pH	pH cont.	Cl-		Ca2+		Alcalinité (HCO3-)		SiO2		p(20°C)
					mV	mg/l			g/kg	mol/kg H2O	g/kg	mol/kg H2O	meq/l	mmol/kg H2O	mg/l	mmol/kg H2O	
KP3-97-09-317	28/09/97	20:00	1876	79					52.269								
KP3-97-09-318	29/09/97	00:00	1880						52.486								
KP3-97-09-319	29/09/97	04:00	1884						51.177								
KP3-97-09-320	29/09/97	08:00	1888		120	0	5.09	4.81	52.408	1.616	6.663	0.182	4.43	4.56	148.4	2.54	1.063
KP3-97-09-321	29/09/97	12:00	1892						51.864								
KP3-97-09-322	29/09/97	16:00	1896	80					52.212								
KP3-97-09-323	29/09/97	20:00	1900						51.948								
KP3-97-09-324	30/09/97	00:00	1904						51.876								
KP3-97-09-325	30/09/97	04:00	1908						51.893								
KP3-97-09-326	30/09/97	08:00	1912		113	0	5.07	4.8	52.746	1.628	6.678	0.182	4.39	4.52	150.6	2.58	1.064
KP3-97-09-327	30/09/97	12:00	1916	81					51.965								
KP3-97-09-328	30/09/97	16:00	1920						52.508								
KP3-97-09-329	30/09/97	20:00	1924						51.67								
KP3-97-10-330	01/10/97	00:00	1928						52.327								
KP3-97-10-331	01/10/97	04:00	1932						51.6								
KP3-97-10-332	01/10/97	08:00	1936	82	112	0	5.06	4.79	52.764	1.628	6.679	0.182	4.44	4.57	150.6	2.58	1.064
KP3-97-10-333	01/10/97	12:00	1940						52.041								
KP3-97-10-334	01/10/97	16:00	1944						51.97								
KP3-97-10-335	01/10/97	20:00	1948						52.383								
KP3-97-10-336	02/10/97	00:00	1952						52.365								
KP3-97-10-337	02/10/97	04:00	1956	83					52.343								
KP3-97-10-338	02/10/97	08:00	1960		110	0	5.07	4.79	52.51	1.620	6.661	0.182	4.38	4.51	149.5	2.56	1.063
KP3-97-10-339	02/10/97	12:00	1964						52.262								
KP3-97-10-340	02/10/97	16:00	1968						51.772								
KP3-97-10-341	02/10/97	20:00	1972						53.167								
KP3-97-10-342	03/10/97	00:00	1976	84					52.796								
KP3-97-10-343	03/10/97	04:00	1980						53.181								
KP3-97-10-344	03/10/97	08:00	1984		117	0	5.09	4.81	52.334	1.614	6.682	0.182	4.4	4.53	145.2	2.49	1.063
KP3-97-10-345	03/10/97	12:00	1988						51.956								
KP3-97-10-346	03/10/97	16:00	1992						51.637								
KP3-97-10-347	03/10/97	20:00	1996	85					52.306								
KP3-97-10-348	04/10/97	00:00	2000						52.289								
KP3-97-10-349	04/10/97	04:00	2004						51.784								
KP3-97-10-350	04/10/97	08:00	2008		109	0.1	5.16	4.78	52.033	1.638	6.7207	0.183	4.34	4.46	137.5	2.35	1.064
KP3-97-10-351	04/10/97	12:00	2012						52.15								
KP3-97-10-352	04/10/97	16:00	2016	85					52.505								
	04/10/97	20:00	2020														
	05/10/97	00:00	2024														
	05/10/97	04:00	2028														
	05/10/97	08:00	2032														
	05/10/97	12:00	2036	85													
	05/10/97	16:00	2040														
KP3-97-10-353	05/10/97	20:00	2044						52.365								

N° Echantillon	Date	Heure	h. cum	j. cum	Eh	O2	pH	pH cont.	Cl-		Ca2+		Alcalinité (HCO3-)		SiO2		p(20°C)
					mV	mg/l			g/kg	mol/kg H2O	g/kg	mol/kg H2O	meq/l	mmol/kg H2O	mg/l	mmol/kg H2O	
KP3-97-10-354	06/10/97	00:00	2048	86					52.103								
KP3-97-10-355	06/10/97	04:00	2052						52.527								
KP3-97-10-356	06/10/97	08:00	2056		98	0.08	5.18	4.78	52.931	1.635	6.6934	0.183	4.58	4.71	136.4	2.34	1.064
stop 09:15	06/10/97	12:00	2060														
restart 18:00	06/10/97	16:00	2064														
KP3-97-10-357	06/10/97	20:00	2068						51.949								
KP3-97-10-358	07/10/97	00:00	2072						51.916								
KP3-97-10-359	07/10/97	04:00	2076						52.258								
KP3-97-10-360	07/10/97	08:00	2080		110	0.1	ND	4.77	52.537	1.628	6.771	0.185	4.9	5.04			1.064
	07/10/97	12:00	2084	87													
	07/10/97	16:00	2088														
KP3-97-10-361	07/10/97	20:00	2092						52.416								
KP3-97-10-362	08/10/97	00:00	2096						52.048								
KP3-97-10-363	08/10/97	04:00	2100						52.34								
KP3-97-10-364	08/10/97	08:00	2104		115	0.12	5.17	3.97	52.571	1.622	6.745	0.185	4.49	4.62			1.063
KP3-97-10-365	08/10/97	12:00	2108	88					52.622								
	08/10/97	16:00	2112														
KP3-97-10-366	08/10/97	20:00	2116														
KP3-97-10-367	09/10/97	00:00	2120														
KP3-97-10-368	09/10/97	04:00	2124														
KP3-97-10-369	09/10/97	08:00	2128		114	0.12	5.13		52.71	1.627	6.581	0.180					1.063
KP3-97-10-370	09/10/97	12:00	2132	89													
	09/10/97	16:00	2136														
KP4-97-10-62	09/10/97	22:30	2140														
KP4-97-10-63	10/10/97	00:00	2144														
KP4-97-10-64	10/10/97	04:00	2148														
KP4-97-10-65	10/10/97	08:30	2152		116	0.12	5.3		53.03	1.637	6.65	0.182	4.35	4.48			1.064
KP4-97-10-66	10/10/97	12:15	2156	90													
KP4-97-10-67	10/10/97	16:15	2160														
KP4-97-10-68	10/10/97	20:00	2164														
KP4-97-10-69	11/10/97	00:00	2168														
KP4-97-10-70	11/10/97	04:00	2172														
KP4-97-10-71	11/10/97	08:15	2176		141	0.1	5.21		52.46	1.618	6.7	0.183	4.1	4.22			1.063
KP4-97-10-72	11/10/97	12:15	2180	91													
KP4-97-10-73	11/10/97	16:15	2184														
KP4-97-10-74	11/10/97	20:00	2188														
KP4-97-10-75	12/10/97	00:00	2192														
KP4-97-10-76	12/10/97	04:00	2196														
KP4-97-10-77	12/10/97	08:15	2200		130	0.09	5.26		52.027	1.636	6.634	0.189	4.12	4.23			1.064
KP4-97-10-78	12/10/97	12:15	2204	92													
KP4-97-10-79	12/10/97	16:00	2208														
KP4-97-10-80	12/10/97	20:00	2212														
KP4-97-10-81	13/10/97	00:00	2216														

N° Echantillon	Date	Heure	h. cum	J. cum	Eh	O2	pH	pH cont.	Cl-		Ca2+		Alcalinité (HCO3-)		SiO2		p(20°C)
					mV	mg/l			g/kg	mol/kg H2O	g/kg	mol/kg H2O	meq/l	mmol/kg H2O	mg/l	mmol/kg H2O	
KP4-97-10-82	13/10/97	04:00	2220	93													
KP4-97-10-83	13/10/97	08:00	2224		101	0.1	5.21	4.68	52.34	1.614	6.7398	0.184	3.97	4.08			1.063
KP4-97-10-84	13/10/97	12:15	2228														
KP4-97-10-85	13/10/97	16:00	2232														
KP4-97-10-86	13/10/97	20:00	2236														
KP4-97-10-87	14/10/97	00:00	2240	94													
KP4-97-10-88	14/10/97	04:00	2244														
KP4-97-10-89	14/10/97	08:00	2248		140	0.11	5.08		52.854	1.632	6.5478	0.179	4.06	4.18			1.064
KP4-97-10-90	14/10/97	12:00	2252														
KP4-97-10-91	14/10/97	16:00	2256														
KP4-97-10-92	14/10/97	20:00	2260	95													
KP4-97-10-93	15/10/97	00:00	2264														
KP4-97-10-94	15/10/97	04:00	2268														
KP4-97-10-95	15/10/97	08:00	2272		144	0.1	5.05		53.009	1.637	6.771	0.185	4.04	4.16			1.064
KP4-97-10-96	15/10/97	12:00	2276														
KP4-97-10-97	15/10/97	16:00	2280	96													
KP4-97-10-98	15/10/97	20:00	2284														
KP4-97-10-99	16/10/97	00:00	2288														
KP4-97-10-100	16/10/97	04:00	2292														
KP4-97-10-101	16/10/97	08:00	2296		142	0.1	5.12		55.87	1.734	6.86	0.188	4.4	4.53	159.3	2.73	1.069
KP4-97-10-102	16/10/97	12:00	2300	97													
KP4-97-10-103	16/10/97	16:00	2304														
KP4-97-10-104	16/10/97	20:00	2308														
KP4-97-10-105	17/10/97	00:00	2312														
KP4-97-10-106	17/10/97	04:00	2316														
KP4-97-10-107	17/10/97	08:00	2320	98	148	0	5.05		53.67	1.659	6.69	0.183	4.5	4.63	163	2.79	1.065
KP4-97-10-108	17/10/97	12:00	2324														
KP4-97-10-109	17/10/97	16:00	2328														
KP4-97-10-110	17/10/97	20:00	2332														
KP4-97-10-111	18/10/97	00:00	2336														
KP4-97-10-112	18/10/97	04:00	2340	99													
KP4-97-10-113	18/10/97	08:00	2344		137	0.1	5.15		53.4	1.655	6.4	0.175	4.13	4.25	110	1.88	1.065
KP4-97-10-114	18/10/97	12:00	2348														
KP4-97-10-115	18/10/97	16:00	2352														
KP4-97-10-116	18/10/97	20:00	2356														
KP4-97-10-117	19/10/97	00:00	2360	99													
KP4-97-10-118	19/10/97	04:00	2364														
KP4-97-10-119	19/10/97	08:00	2368														
KP4-97-10-120	19/10/97	12:00	2372														
KP4-97-10-121	19/10/97	16:00	2376														
KP4-97-10-122	19/10/97	20:00	2380														
KP4-97-10-123	20/10/97	00:00	2384														
KP4-97-10-124	20/10/97	04:00	2388														

N° Echantillon	Date	Heure	h. cum	J. cum	Eh	O2	pH	pH cont.	Cl-		Ca2+		Alcalinité (HCO3-)		SiO2		ρ(20°C)
					mV	mg/l			g/kg	mol/kg H2O	g/kg	mol/kg H2O	meq/l	mmol/kg H2O	mg/l	mmol/kg H2O	
KP4-97-10-125	20/10/97	08:00	2392	100	120	0	5.15		53.2	1.643	6.79	0.185	4.24	4.36	156	2.67	1.064
KP4-97-10-126	20/10/97	12:00	2396														
KP4-97-10-127	20/10/97	16:00	2400														
KP4-97-10-128	20/10/97	20:00	2404														
KP4-97-10-129	21/10/97	00:00	2408														
KP4-97-10-130	21/10/97	04:00	2412	101													
KP4-97-10-131	21/10/97	08:00	2416		139	0	5.1		52.2	1.693	6.95	0.190	4.39	4.50	153.9	2.62	1.067
KP4-97-10-132	21/10/97	12:00	2420														
KP4-97-10-133	21/10/97	16:00	2424														
KP4-97-10-134	21/10/97	20:00	2428														
KP4-97-10-135	22/10/97	00:00	2432	102													
KP4-97-10-136	22/10/97	04:00	2436														
KP4-97-10-137	22/10/97	08:00	2440		136	0	5.16		51.782	1.595	6.725	0.183	4.36	4.48	150.6	2.58	1.062
KP4-97-10-138	22/10/97	12:00	2444														
KP4-97-10-139	22/10/97	16:00	2448														
KP4-97-10-140	22/10/97	20:00	2452	103													
KP3-97-10-421	23/10/97	00:00	2456														
KP3-97-10-422	23/10/97	04:00	2460														
KP3-97-10-423	23/10/97	08:00	2464		131	0	5.08		53.258	1.645	6.78	0.185	4.24	4.36	152.8	2.62	1.064
KP3-97-10-424	23/10/97	12:00	2468														
KP3-97-10-425	23/10/97	16:00	2472	104													
KP3-97-10-426	23/10/97	20:00	2476														
KP3-97-10-427	24/10/97	00:00	2480														
KP3-97-10-428	24/10/97	04:00	2484														
KP3-97-10-429	24/10/97	08:00	2488		150	0.14	5.05	4.6	52.729	1.627	6.76	0.185	4.39	4.52	148.4	2.54	1.064
KP3-97-10-430	24/10/97	12:00	2492	105													
KP3-97-10-431	24/10/97	16:00	2496														
KP3-97-10-432	24/10/97	20:00	2500														
KP3-97-10-433	25/10/97	00:00	2504														
KP3-97-10-434	25/10/97	04:00	2508														
KP3-97-10-435	25/10/97	08:00	2512	106	140	0	5.04	4.61	52.78	1.629	6.73	0.184	4.43	4.56	150.6	2.58	1.064
KP3-97-10-436	25/10/97	12:00	2516														
KP3-97-10-437	25/10/97	16:00	2520														
KP3-97-10-438	25/10/97	20:00	2524														
KP3-97-10-439	26/10/97	01:00	2528														
KP3-97-10-440	26/10/97	05:00	2532	106													
KP3-97-10-441	26/10/97	09:00	2536		147	0	5.1	4.71	52.748	1.628	6.735	0.184	3.72	3.83	148.4	2.54	1.064
KP3-97-10-442	26/10/97	13:00	2540														
KP3-97-10-443	26/10/97	17:00	2544														
KP3-97-10-444	26/10/97	21:00	2548														
KP3-97-10-445	27/10/97	01:00	2552	106													
KP3-97-10-446	27/10/97	05:00	2556														
KP3-97-10-447	27/10/97	09:00	2560		141	0	5.1	4.74	52.65	1.625	6.73	0.184	3.63	3.73	148.4	2.54	1.063

Annexe 3.1

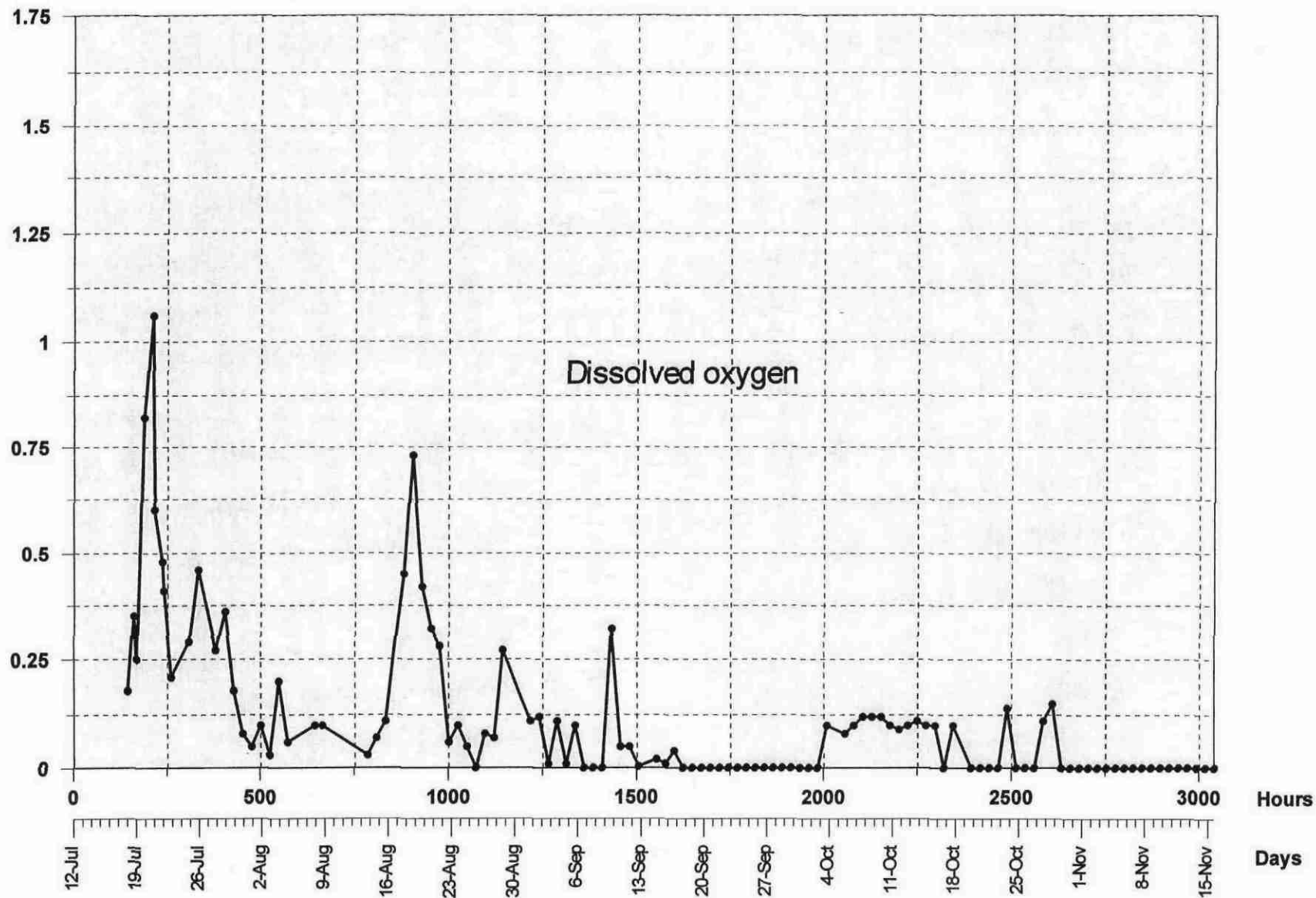
N° Echantillon	Date	Heure	h. cum	j. cum	Eh	O2	pH	pH cont.	Cl-		Ca2+		Alcalinité (HCO3-)		SiO2		p(20°C)
					mV	mg/l			g/kg	mol/kg H2O	g/kg	mol/kg H2O	meq/l	mmol/kg H2O	mg/l	mmol/kg H2O	
KP3-97-10-448	27/10/97	13:00	2564	107													
KP3-97-10-449	27/10/97	17:00	2568														
KP3-97-10-450	27/10/97	21:00	2572														
KP3-97-10-451	28/10/97	01:00	2576														
KP3-97-10-452	28/10/97	05:00	2580														
KP3-97-10-453	28/10/97	09:00	2584	108	139	0.11	5.2	4.71	52.71	1.627	6.49	0.177	3.55	3.65	149.5	2.56	1.063
KP3-97-10-454	28/10/97	13:00	2588														
KP3-97-10-455	28/10/97	17:00	2592														
KP3-97-10-456	28/10/97	21:00	2596														
KP3-97-10-457	29/10/97	01:00	2600														
KP3-97-10-458	29/10/97	05:00	2604	109													
KP3-97-10-459	29/10/97	09:00	2608		144	0.15	5.08	4.74	52.41	1.616	6.79	0.185	3.62	3.72	153.89	2.63	1.063
KP3-97-10-460	29/10/97	13:00	2612														
KP3-97-10-461	29/10/97	17:00	2616														
KP3-97-10-462	29/10/97	21:00	2620														
KP3-97-10-463	30/10/97	01:00	2624	110													
KP3-97-10-464	30/10/97	05:00	2628														
KP3-97-10-465	30/10/97	09:00	2632		128	0	5.28	4.74	52.63	1.624	6.48	0.177	3.61	3.71	150.6	2.58	1.063
KP3-97-10-466	30/10/97	13:00	2636														
KP3-97-10-467	30/10/97	17:00	2640														
KP3-97-10-468	30/10/97	21:00	2644	111													
KP3-97-10-469	31/10/97	01:00	2648														
02:30 - 12:45	31/10/97	05:00	2652														
(KP3-471 = 14:15)	31/10/97	09:00	2656		129	0	5.19	4.7	52.46	1.618	6.77	0.185	3.54	3.64	152	2.60	1.063
(KP3-472 = 15:00)	31/10/97	13:00	2660														
KP3-97-10-473	31/10/97	17:00	2664	112													
KP3-97-10-474	31/10/97	21:00	2668														
KP3-97-11-475	01/11/97	01:00	2672														
KP3-97-11-476	01/11/97	05:00	2676														
KP3-97-11-477	01/11/97	09:00	2680		136	0	5.1	4.79	52.42	1.617	6.82	0.187	3.59	3.69	152	2.60	1.063
KP3-97-11-478	01/11/97	13:00	2684	113													
KP3-97-11-479	01/11/97	17:00	2688														
KP3-97-11-480	01/11/97	21:00	2692														
KP3-97-11-481	02/11/97	01:00	2696														
KP3-97-11-482	02/11/97	05:00	2700														
KP3-97-11-483	02/11/97	09:00	2704	113	140	0	5.1	4.61	52.1	1.660	6.83	0.186	3.42	3.51	150	2.56	1.065
KP3-97-11-484	02/11/97	13:00	2708														
KP3-97-11-485	02/11/97	17:00	2712														
KP3-97-11-486	02/11/97	21:00	2716														
KP3-97-11-487	03/11/97	01:00	2720														
KP3-97-11-488	03/11/97	05:00	2724	113													
KP3-97-11-489	03/11/97	09:00	2728		140	0	5.06	4.64	52.83	1.637	6.75	0.184	3.61	3.71	152	2.60	1.064
KP3-97-11-490	03/11/97	13:00	2732														

N° Echantillon	Date	Heure	h. cum	J. cum	Eh	O2	pH	pH cont.	Cl-		Ca2+		Alcalinité (HCO3-)		SiO2		p(20°C)
					mV	mg/l			g/kg	mol/kg H2O	g/kg	mol/kg H2O	meq/l	mmol/kg H2O	mg/l	mmol/kg H2O	
KP3-97-11-491	03/11/97	17:00	2736	114													
KP3-97-11-492	03/11/97	21:00	2740														
KP3-97-11-493	04/11/97	01:00	2744														
KP3-97-11-494	04/11/97	05:00	2748														
KP3-97-11-495	04/11/97	09:00	2752		136	0	4.98	4.51	52.14	1.674	6.76	0.184	3.68	3.77	152	2.59	1.066
KP3-97-11-496	04/11/97	13:00	2756														
KP3-97-11-497	04/11/97	17:00	2760	115													
KP3-97-11-498	04/11/97	21:00	2764														
KP3-97-11-499	05/11/97	01:00	2768														
KP3-97-11-500	05/11/97	05:00	2772														
KP3-97-11-501	05/11/97	09:00	2776		138	0	5.05	4.57	52.61	1.623	6.72	0.183	3.69	3.80	152	2.60	1.063
KP3-97-11-502	05/11/97	13:00	2780														
KP3-97-11-503	05/11/97	17:00	2784	116													
KP3-97-11-504	05/11/97	21:00	2788														
KP3-97-11-505	06/11/97	01:00	2792														
KP3-97-11-506	06/11/97	05:00	2796														
KP3-97-11-507	06/11/97	09:00	2800		136	0	5.03		52.66	1.625	6.71	0.183	3.73	3.84	152	2.60	1.063
KP3-97-11-508	06/11/97	13:00	2804														
KP3-97-11-509	06/11/97	17:00	2808	117													
KP3-97-11-510	06/11/97	21:00	2812														
KP3-97-11-511	07/11/97	01:00	2816														
KP3-97-11-512	07/11/97	05:00	2820														
KP3-97-11-513	07/11/97	09:00	2824		132	0	5.12		52.83	1.637	6.74	0.185	3.69	3.79	153	2.62	1.064
KP3-97-11-514	07/11/97	13:00	2828														
KP3-97-11-515	07/11/97	17:00	2832	118													
KP3-97-11-516	07/11/97	21:00	2836														
KP3-97-11-517	08/11/97	01:00	2840														
KP3-97-11-518	08/11/97	05:00	2844														
KP3-97-11-519	08/11/97	09:00	2848		136	0	5.05		52.86	1.632	6.74	0.184	3.68	3.79	150	2.57	1.064
KP3-97-11-520	08/11/97	13:00	2852														
KP3-97-11-521	08/11/97	17:00	2856	119													
KP3-97-11-522	08/11/97	21:00	2860														
KP3-97-11-523	09/11/97	01:00	2864														
KP3-97-11-524	09/11/97	05:00	2868														
KP3-97-11-525	09/11/97	09:00	2872		133	0	5.16		52.76	1.628	6.725	0.184	3.5	3.60	156	2.67	1.064
KP3-97-11-526	09/11/97	13:00	2876														
KP3-97-11-527	09/11/97	17:00	2880	120													
KP3-97-11-528	09/11/97	21:00	2884														
KP3-97-11-529	10/11/97	01:00	2888														
KP3-97-11-530	10/11/97	05:00	2892														
KP3-97-11-531	10/11/97	09:00	2896		131	0	5.17		52.665	1.625	6.9267	0.189	3.48	3.58	155	2.65	1.063
KP3-97-11-532	10/11/97	13:00	2900														
KP3-97-11-533	10/11/97	17:00	2904	121													

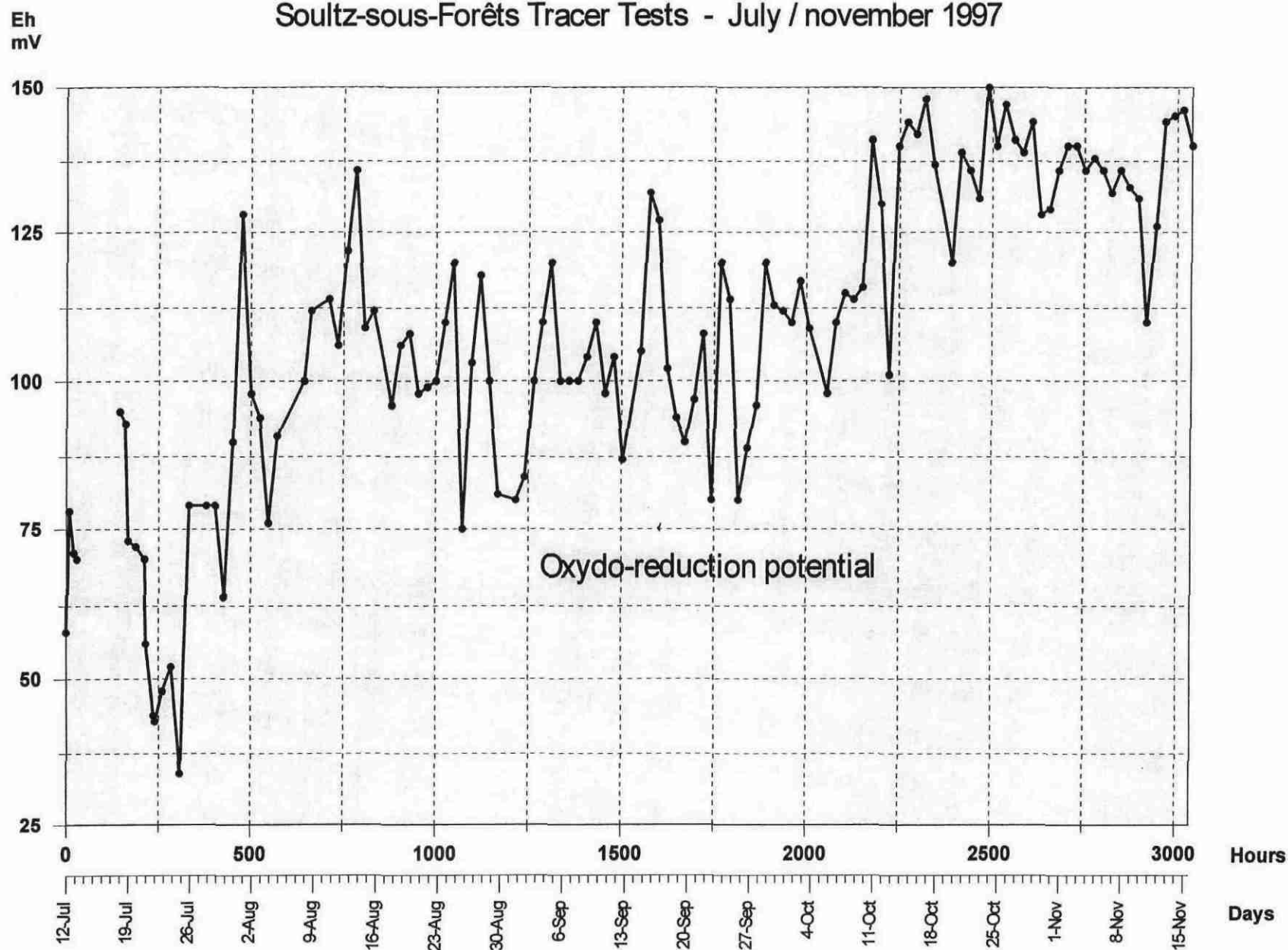
N° Echantillon	Date	Heure	h. cum	j. cum	Eh	O2	pH	pH cont.	Cl-		Ca2+		Alcalinité (HCO3-)		SiO2		p(20°C)
					mV	mg/l			g/kg	mol/kg H2O	g/kg	mol/kg H2O	meq/l	mmol/kg H2O	mg/l	mmol/kg H2O	
KP3-97-11-534	10/11/97	21:00	2908	122													
KP3-97-11-535	11/11/97	01:00	2912														
KP3-97-11-536	11/11/97	05:00	2916														
KP3-97-11-537	11/11/97	09:00	2920		110	0	5.1		53.15	1.641	6.863	0.187	3.44	3.54	152.6	2.61	1.064
KP3-97-11-538	11/11/97	13:00	2924														
KP3-97-11-539	11/11/97	17:00	2928	123													
KP3-97-11-540	11/11/97	21:00	2932														
KP3-97-11-541	12/11/97	01:00	2936														
KP3-97-11-542	12/11/97	05:00	2940														
KP3-97-11-543	12/11/97	09:00	2944		126	0	5.14	3.39	52.568	1.622	6.8275	0.186	3.41	3.51	155	2.65	1.063
KP3-97-11-544	12/11/97	13:00	2948	124													
KP3-97-11-545	12/11/97	17:00	2952														
KP3-97-11-546	12/11/97	21:00	2956														
KP3-97-11-547	13/11/97	01:00	2960														
KP3-97-11-548	13/11/97	05:00	2964														
KP3-97-11-549	13/11/97	09:00	2968	125	144	0	5.13	3.37	52.82	1.634	6.8197	0.186	3.4	3.50	156	2.67	1.064
KP3-97-11-550	13/11/97	13:00	2972														
KP3-97-11-551	13/11/97	17:00	2976														
KP3-97-11-552	13/11/97	21:00	2980														
KP3-97-11-553	14/11/97	01:00	2984														
KP3-97-11-554	14/11/97	05:00	2988	126													
KP3-97-11-555	14/11/97	09:00	2992		145	0	5.13	3.3	53.182	1.643	6.6	0.183	3.34	3.44	158	2.71	1.064
KP3-97-11-556	14/11/97	13:00	2996														
KP3-97-11-557	14/11/97	17:00	3000														
KP3-97-11-558	14/11/97	21:00	3004														
KP3-97-11-559	15/11/97	01:00	3008	126													
KP3-97-11-560	15/11/97	05:00	3012														
KP3-97-11-561	15/11/97	09:00	3016		146	0	5.03	3.3	53.108	1.649	6.7	0.184	3.65	3.75	155	2.65	1.065
KP3-97-11-562	15/11/97	13:00	3020														
KP3-97-11-563	15/11/97	17:00	3024														
KP3-97-11-564	15/11/97	21:00	3028	126													
KP3-97-11-565	16/11/97	01:00	3032														
KP3-97-11-566	16/11/97	05:00	3036														
KP3-97-11-567	16/11/97	09:00	3040		140	0	5.04	2.95	52.84	1.640	6.8	0.186	3.58	3.68	151	2.58	1.064

Dissolved oxygen
mg/l

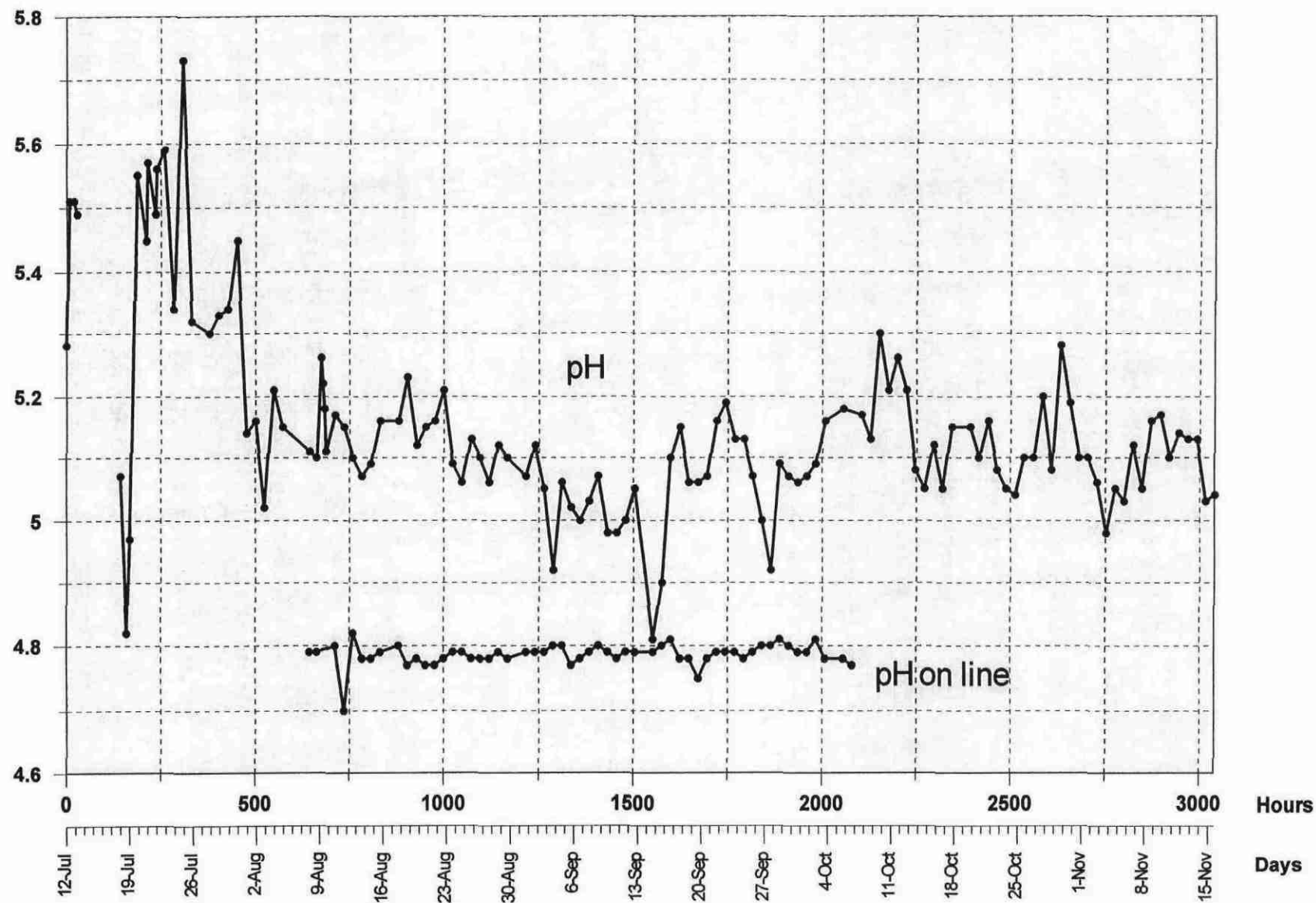
Soultz-sous-Forêts Tracer Tests - July / november 1997



Soultz-sous-Forêts Tracer Tests - July / november 1997

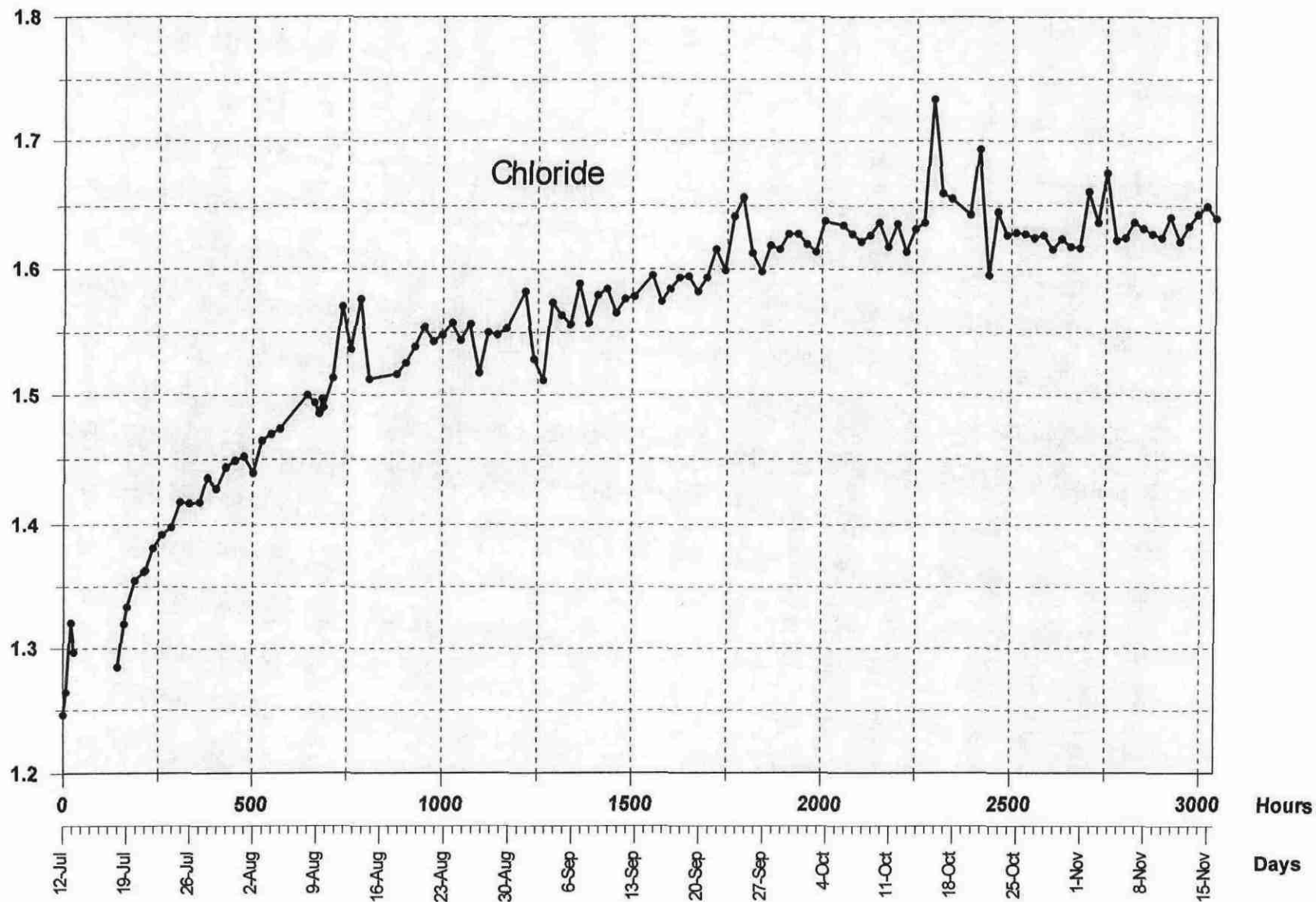


pH Soultz-sous-Forêts Tracer Tests - July / november 1997



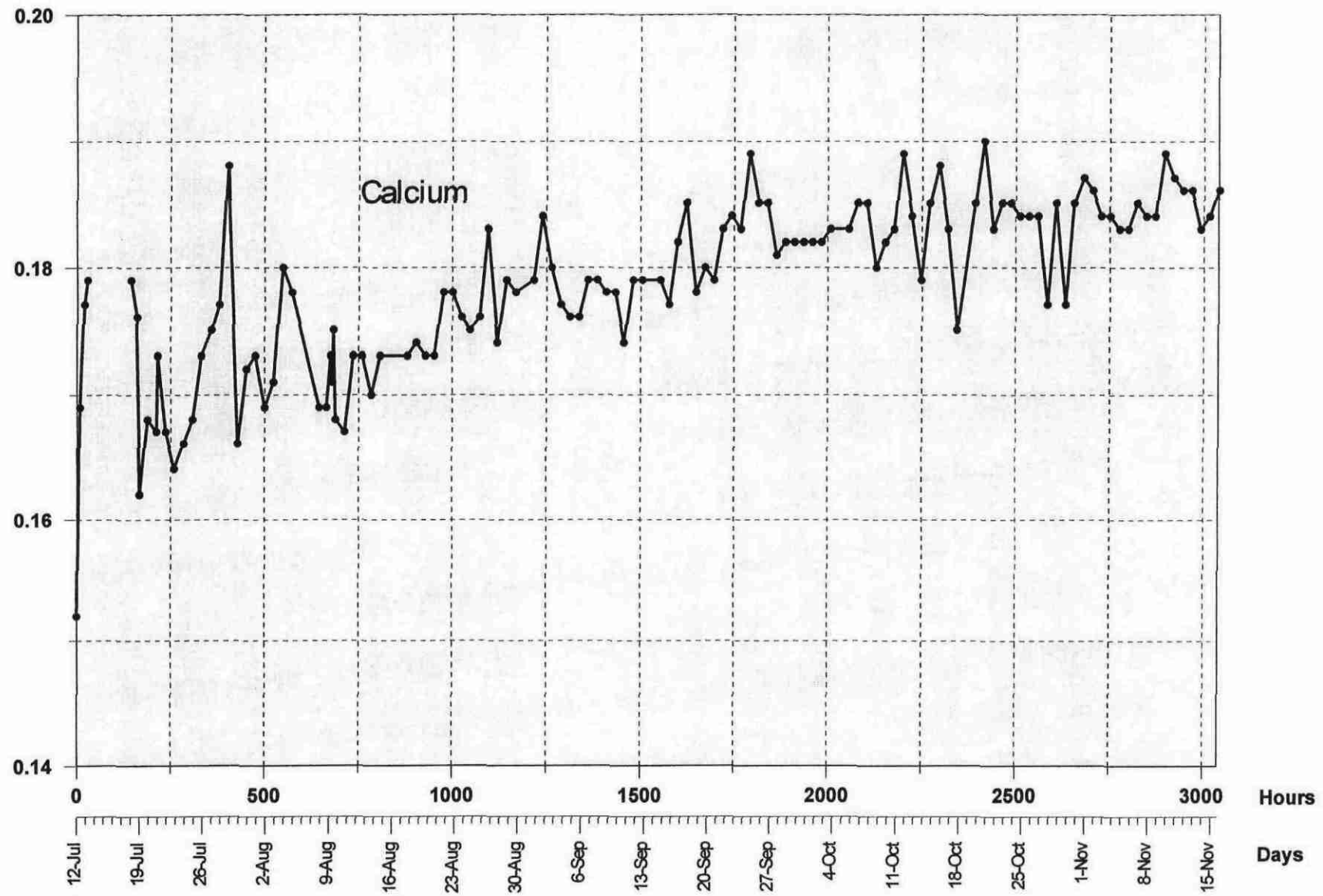
Chloride
mol/kg H₂O

Soultz-sous-Forêts Tracer Tests - July / november 1997



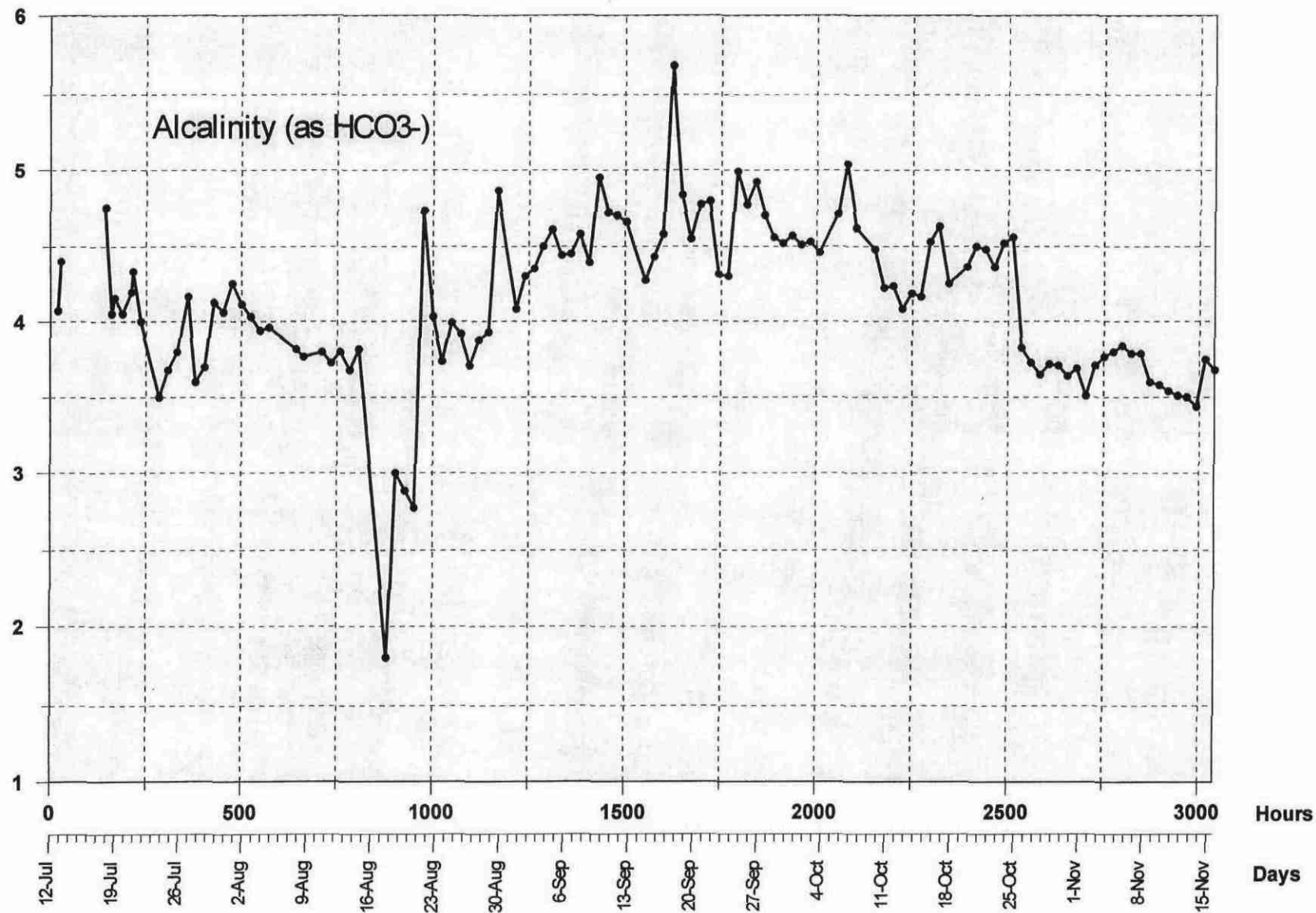
Calcium
mol/kg H₂O

Soultz-sous-Forêts Tracer Tests - July / november 1997



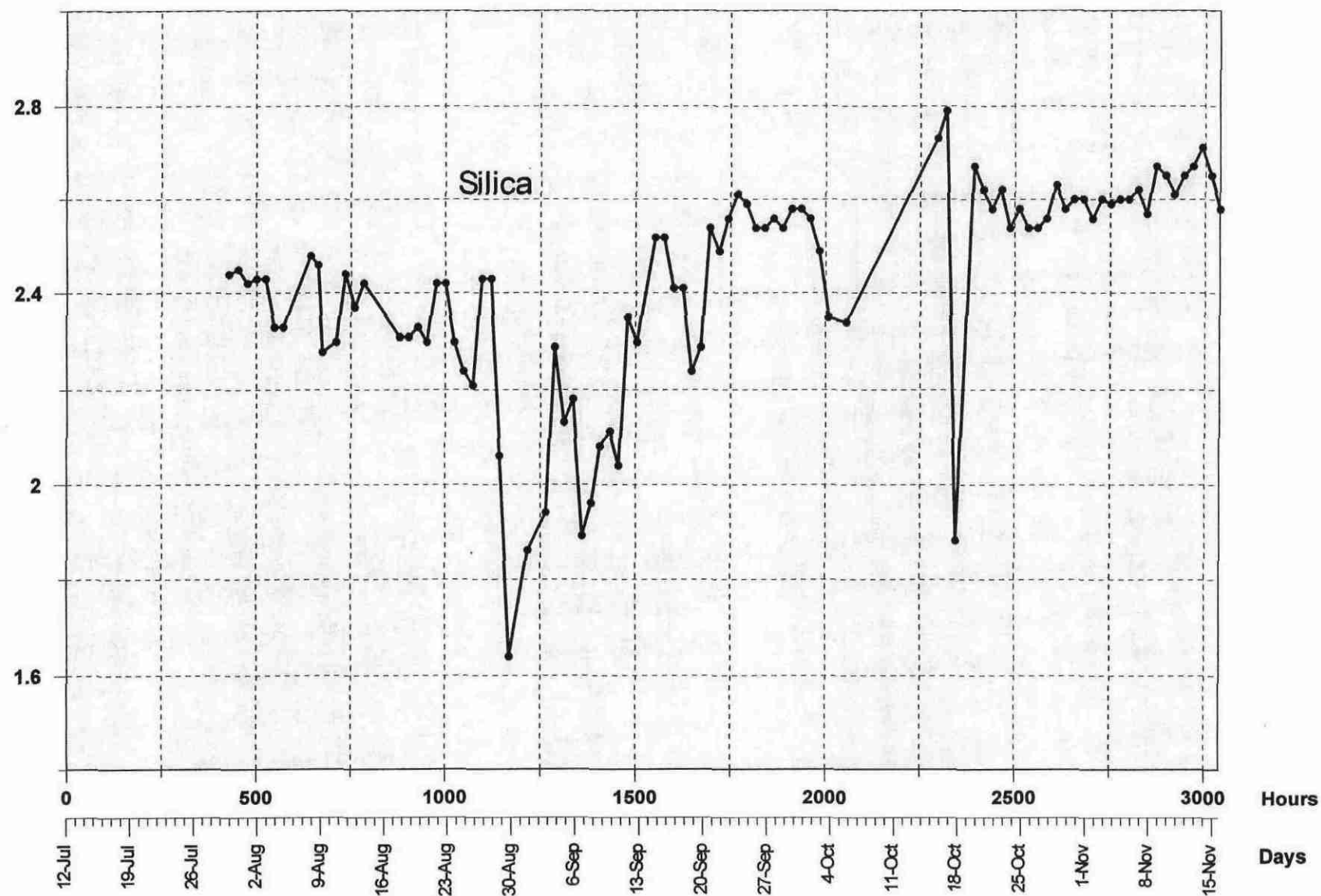
Alcalinity
mmol/kg H₂O

Soultz-sous-Forêts Tracer Tests - July / november 1997



Silica
mmol/kg H₂O

Soultz-sous-Forêts Tracer Tests - July / november 1997



Conversion des unités de concentration

Objectif : convertir les unités de concentration des différents composés analysés (calcium et chlorure en $[g/kg_{sol}]$, silice en $[mg/l_{sol}]$, alcalinité en $[meq/l_{sol}]$) en une unité commune indépendante de la température et de la pression, la molalité = mole par kilo d'eau = $[mol/kg_{H_2O}]$.

Formules de départ (Michard, 1989) :

$$[mol_i / kg_{H_2O}] = \frac{1000 \cdot [mol_i / kg_{sol}]}{1000 - \sum_j M_j \cdot [mol_j / kg_{sol}]} = \frac{1000 \cdot [g_i / kg_{sol}]}{\left\{ 1000 - \sum_j [g_j / kg_{sol}] \right\} \cdot M_i}$$

où :

$$[mol_i / kg_{sol}] = \frac{[g_i / kg_{sol}]}{M_i} = \frac{[mg_i / l_{sol}]}{1000 \cdot \rho \cdot M_i} = \frac{[meq_i / l_{sol}]}{1000 \cdot \rho}$$

avec : i = indice du $i^{ème}$ soluté du fluide
 j = nombre total de solutés du fluide

ρ = densité de la solution
 M_i = masse molaire du soluté i
 mol_i = nombre de moles du soluté i
 g_i, mg_i = masse du soluté i
 meq_i = nombre de millimoles d'équivalents du soluté i
 l_{sol} = 1 litre de solution
 kg_{sol} = 1 kg de solution
 kg_{H_2O} = 1 kg d'eau

Calcul des molalités de chlorure et de calcium : ces calculs de conversions d'unités en molalité ne peuvent être faits qu'à condition de connaître la masse de tous les solutés de la solution. Dans le cas du fluide de Soultz, les trois espèces majoritaires sont Ca^{2+} , Na^+ et Cl^- . En négligeant les autres espèces en solution, on a :

$$\sum [g_j / kg_{sol}] \approx [g_{Cl} / kg_{sol}] + [g_{Ca} / kg_{sol}] + [g_{Na} / kg_{sol}]$$

La condition d'électroneutralité impose que : $[mol_{Cl} / kg_{sol}] = [mol_{Na} / kg_{sol}] + 2 \cdot [mol_{Ca} / kg_{sol}]$

$$\text{Soit : } [g_{Na} / kg_{sol}] = \frac{M_{Na}}{M_{Cl}} \cdot [g_{Cl} / kg_{sol}] - 2 \cdot \frac{M_{Na}}{M_{Ca}} \cdot [g_{Ca} / kg_{sol}]$$

D'où finalement :

$$[\text{mol}_i / \text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}] = \frac{1000 \cdot [\text{g}_i / \text{kg}_{\text{sol}}]}{\left\{ 1000 - \left(1 + \frac{M_{\text{Na}}}{M_{\text{Cl}}} \right) \cdot [\text{g}_{\text{Cl}} / \text{kg}_{\text{sol}}] - \left(1 - 2 \cdot \frac{M_{\text{Na}}}{M_{\text{Ca}}} \right) \cdot [\text{g}_{\text{Ca}} / \text{kg}_{\text{sol}}] \right\} \cdot M_i}$$

Cette formule permet la conversion de l'unité de concentration en chlorure et en calcium mesurée sur le terrain ($[\text{g} / \text{kg}_{\text{sol}}]$) en molalité $[\text{mol} / \text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}]$.

Calcul de la densité du fluide : ce calcul est nécessaire pour convertir les unités de concentration en silice ($[\text{mg}/\text{l}_{\text{sol}}]$) et d'alcalinité ($[\text{meq}/\text{l}_{\text{sol}}]$). La formule retenue (Williams, 1997) permet le calcul de la densité en fonction de la température T ($T < 300 \text{ } ^\circ\text{C}$) et des molalités de chlorure et de calcium ($0,5 \text{ mol/kg}_{\text{H}_2\text{O}} < \text{molalité totale} < 6 \text{ mol/kg}_{\text{H}_2\text{O}}$), avec une précision de $\pm 0,01 \text{ g/cm}^3$.

$$\rho_{\text{fluide}} = \rho_{\text{NaCl}} + \left(2 \cdot \frac{[\text{mol}_{\text{Ca}} / \text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}]}{[\text{mol}_{\text{Cl}} / \text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}]} \right) \cdot \Delta\rho_{\text{Ca-Na}}$$

avec : $\rho_{\text{NaCl}} = A + B \cdot T + C \cdot T^2$

$$A = 0,98 + 5,22 \cdot 10^{-2} \cdot [\text{mol}_{\text{Cl}} / \text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}] - 2,22 \cdot 10^{-3} \cdot [\text{mol}_{\text{Cl}} / \text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}]^2$$

$$B = -1,71 \cdot 10^{-4} + 2,63 \cdot 10^{-4} \cdot [\text{mol}_{\text{Cl}} / \text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}] - 2,40 \cdot 10^{-5} \cdot [\text{mol}_{\text{Cl}} / \text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}]^2$$

$$C = 3,54 \cdot 10^{-6} - 9,54 \cdot 10^{-7} \cdot [\text{mol}_{\text{Cl}} / \text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}] + 8,26 \cdot 10^{-8} \cdot [\text{mol}_{\text{Cl}} / \text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}]^2$$

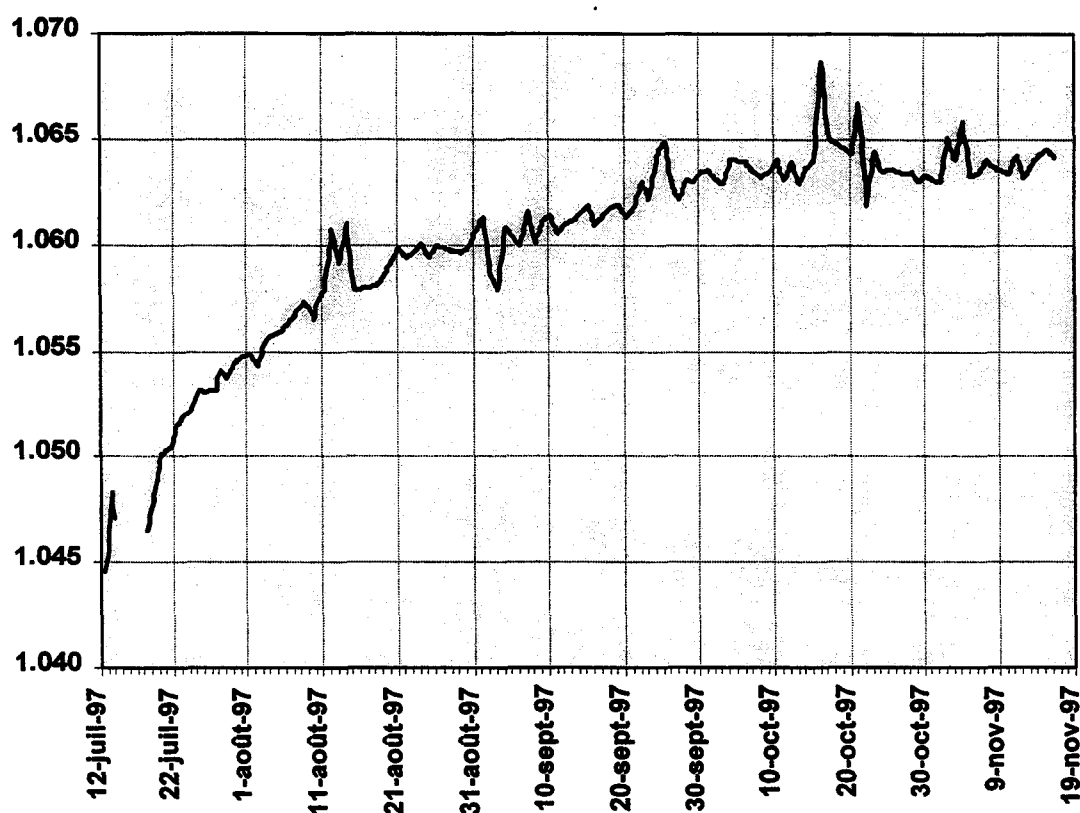
$$\text{et : } \Delta\rho_{\text{Ca-Na}} = -5,00 \cdot 10^{-3} + 4,98 \cdot 10^{-5} \cdot T + 1,47 \cdot 10^{-2} \cdot [\text{mol}_{\text{Ca}} / \text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}] - 2,22 \cdot 10^{-5} \cdot T \cdot [\text{mol}_{\text{Ca}} / \text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}]$$

La comparaison de la densité calculée à $20 \text{ } ^\circ\text{C}$ et de la densité mesurée à $20 \text{ } ^\circ\text{C}$ sur les mêmes échantillons montre une très bonne adéquation entre les deux résultats.

Date	Heure	ρ calculée (BRGM)	ρ mesurée (BGR)	Ecart
02/10/97	08:00	1.063	1.062	0.001
03/10/97	08:00	1.063	1.062	0.001
10/10/97	08:00	1.064	1.062	0.002
11/10/97	08:00	1.063	1.063	0.000
12/10/97	08:00	1.064	1.062	0.002
13/10/97	08:00	1.063	1.062	0.001
14/10/97	08:00	1.064	1.062	0.002
15/10/97	08:00	1.064	1.062	0.002

L'évolution de la densité calculée à 20 °C du fluide produit par GPK2 est représentée sur le graphique suivant :

Evolution de la densité du fluide à 20°C



Calculs des molalités de silice et d'alcalinité (exprimée en ion hydrogénocarbonate) : ce calcul se fait grâce aux formules suivantes tirées des formules de départ et des calculs précédents :

$$[\text{mol}_i / \text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}] = \frac{[\text{mg}_i / \text{l}_{\text{sol}}]}{\left\{ 1000 - \left(1 + \frac{M_{\text{Na}}}{M_{\text{Cl}}} \right) \cdot [\text{g}_{\text{Cl}} / \text{kg}_{\text{sol}}] - \left(1 - 2 \cdot \frac{M_{\text{Na}}}{M_{\text{Ca}}} \right) \cdot [\text{g}_{\text{Ca}} / \text{kg}_{\text{sol}}] \right\} \cdot \rho \cdot M_i}$$


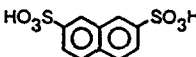
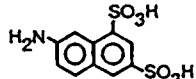
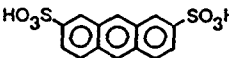
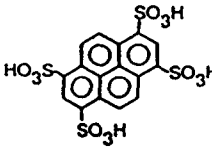
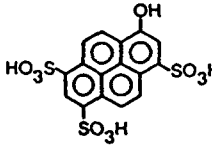
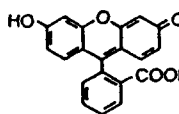
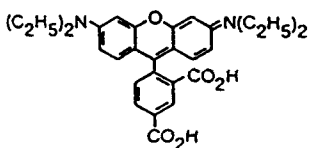
$$[\text{mol}_i / \text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}] = \frac{[\text{meq}_i / \text{l}_{\text{sol}}]}{\left\{ 1000 - \left(1 + \frac{M_{\text{Na}}}{M_{\text{Cl}}} \right) \cdot [\text{g}_{\text{Cl}} / \text{kg}_{\text{sol}}] - \left(1 - 2 \cdot \frac{M_{\text{Na}}}{M_{\text{Ca}}} \right) \cdot [\text{g}_{\text{Ca}} / \text{kg}_{\text{sol}}] \right\} \cdot \rho}$$

Annexes 4

-
- 4.1 : Tableau de synthèse des traçages.**
 - 4.2 : Tableau de synthèse des caractéristiques des traceurs choisis.**
 - 4.3: Dimensionnement des traçages.**
 - 4.4 : Préparation de la solution d'acide benzoïque et de fluorescéine.**
 - 4.5 : Tableau de synthèse des conditions d'injection des traceurs.**
 - 4.6 : Protocole d'échantillonnage du fluide.**
 - 4.7: Résultats d'analyse des traceurs (tableau et figures).**
 - 4.8 : Graphique de synthèse des courbes de restitution non corrigées.**
 - 4.9 : Correction des courbes de restitution.**
-

Tracer tests summary

Tracer	Mass of tracer injected	Volume of tracer solution	Date of injection	Date of first detected arrival	Delay	Goal
Fluorescein (Uranine)	150 kg	6200 l (Open-hole)	01/08/97 13:00 - 14:35	(04/08/97)	(72 h)	to test connection (field monitoring)
Benzoic Acid	292 kg	6200 l (Open-hole)	01/08/97 13:00 - 14:35	04/08/97 12:00	72 h	to test connection (quantification)
Deuterium	8.59 kg (D)	2 x 20 l (Bottom)	30/07/97 16:00 and 20:30	01/08/97 12:00 to 03/08/97 12:00	44 h to 92 h	to test a lower connection and adsorption effects
Rhodamin	22.7 kg	2600 l (Open-hole)	09/10/97 17:35 - 18:10	13/10/97 04:00	81 h	change in hydraulic conditions
Amino-G	28.8 kg	2150 l (Open-hole)	23/10/97 16:53 - 17:33	28/10/97 16:00	120 h	change in hydraulic conditions

family	example	detect. limit	cost (\$/kg)	approx. T range (°C)
benzene sulfonic acids	 benzene sulfonic acid	10 ppb	11	> 300
naphthalene sulfonic acids	 2,6-naphthalene disulfonic acid	1 ppb	65	> 300
	 amino G acid	10 ppt	13	< 250
anthracene sulfonic acids	 2,8-anthracene disulfonic acid	NA	NA	NA
pyrene sulfonic acids	 pyrene tetrasulfonic acid	1 ppb	3000	> 300
	 pyranine	10 ppt	75	< 250
xanthenes	 fluorescein	10 ppt	15	< 250
	 rhodamine WT	10 ppt	200	< 180



**Définition du programme de traçage
test de circulation 1997 - Soultz**

Objet: Traçage

Ref: M/LA/AM

Diffusion: C. Fouillac (DR/D), AM Fouillac (SMN), H. Pauwels (DR/MGG)

Auteur(s): L. Aquilina

Objectif : Calcul des quantités de traceur à ajouter lors du test de circulation d'une durée de 4 mois à Soultz.

1. Calcul du coefficient de restitution (ou de dilution)

Du fait de la taille de l'échangeur, de la porosité des systèmes fracturés, de leur complexité et de la présence de plusieurs niveaux de production, un pulse de traceur injecté depuis la surface va être restitué à un certain taux, éloigné de 100 %. De plus, le fluide produit par le puits n'est constitué que d'une partie faible provenant du puits d'injection. La C max de traceur va donc subir une "dilution" par rapport à la quantité injectée.

Ce taux de dilution peut être approché de deux méthodes un peu brutales : (1) calcul du volume produit et (2) calcul fonction de la taille de l'échangeur (Adams, rapport Dixie Valley par exemple).

(1) vol produit : 20 à 30 l/s pdt 4 mois = $20/30 * 60 * 60 * 24 * 120 = 200 \text{ à } 300\,000 \text{ m}^3$, i.e. 2 à 3 10^8 litres.

(2) facteur de dilution (Fd) = carré de la distance entre puits * hauteur zones de circulation * porosité

Si l'on prend la hauteur totale de l'échangeur et une porosité de 1 %

$$Fd = 500 * 500 * 600 * 0.01 = 1.5 \cdot 10^9 \text{ litres}$$

Si l'on ne considère que la hauteur de la zone fracturée à 3500 m (30 m) et une porosité de 5 %

$$Fd = 30 * 500 * 500 * 0.05 = 4.5 \cdot 10^8 \text{ litres}$$

Il y a un facteur 10 entre les deux méthodes de calcul qui est lié au fait que l'on prend une marge de sécurité plus grande dans le second cas.

Une modélisation rapide à partir du logiciel CATHY, effectuée par W. Klopmann figure en annexe. Les paramètres sont les suivants : distance entre puits 500 m, hauteur considérée 600 m. On a pris une porosité de 0.045 %, et une dispersivité de 2 et 10 m. En utilisant ces valeurs on obtient un retour du traceur entre 3 et 4 mois. Il semble peu probable que ces paramètres puissent être inférieurs à ces valeurs. S'ils étaient plus élevés, le retour du traceur ne pourrait être observé avant une période plus longue que celle durant laquelle nous pourrions l'observer (6 mois max.). Le rapport entre la quantité injectée et la concentration maximale du traceur ("taux de dilution" Fd) est de l'ordre de $5 \cdot 10^7$ à $1 \cdot 10^8$.

Ces chiffres sont inférieurs d'environ un ordre de grandeur par rapport aux précédents ce qui semble montrer que le chiffre le plus raisonnable serait autour de 10^8 .

2. Calcul des quantités de traceur à ajouter

2.1. Fluorescéine et acide benzoïque

Les quantités de traceur à ajouter sont fonction du seuil de détection du produit. Pour la fluorescéine ce seuil est de 0.1 mg/l sur le terrain et de 0.05 mg/l en labo. Il est de 0.05 mg/l pour un acide organique. Les quantités de produit nécessaires sont dans le tableau suivant en fonction des différentes hypothèses.

	Fd			
	1.50E+09	4.50E+08	2.00E+08	5.00E+07
Lim détection				
Fluo				
0.1 mg/l	150	45	20	5
0.01 mg/l	15	4.5	2	0.5
Ac Benzoïque				
0.01 mg/l	15	4.5	2	0.5

Quantités en kg

L'hypothèse maximaliste conduit donc à des quantités de l'ordre de 150 kg pour être détectable sur le terrain. Les coûts de l'ordre de 300 F/kg de ces produits permet d'envisager d'injecter des quantités de l'ordre de plusieurs centaines de kg pour un budget inférieur à 100 kF.

2.2. Deutérium

En annexe figurent les variations des concentration en deutérium et hydrogène lorsqu'on mélange un "spike" de deutérium à de l'eau "normale". On voit que pour obtenir un signal détectable dans un litre d'eau, les quantités de deutérium à ajouter sont de 10^{-6} à $5 \cdot 10^{-7}$ kg pour un litre d'eau.

On peut faire un calcul plus précis de la manière suivante :

R = rapport D/H, R standard = $1.4 \cdot 10^{-4}$

Delta de fluide naturel = - 41 donc $R_m = 1.343 \cdot 10^{-4}$

Delta du mélange en limite de détection par rapport à la variabilité naturelle :

l/ -36 donc $R_m = 1.3496 \cdot 10^{-4}$

é/ -41 donc $R_m = 1.357 \cdot 10^{-4}$

La différence de rapport entre le signal naturel et le signal tracé minimum ΔR est donc de $1.4 \cdot 10^{-6}$ à $6.6 \cdot 10^{-7}$

Si l'on considère que l'on ajoute du deutérium pur et en négligeant celui présent dans l'eau naturelle, le rapport D/H dans le mélange est égal au rapport entre la quantité de deutérium ajoutée et la quantité de fluide naturel. La quantité de deutérium à ajouter Q est donc $Q = \Delta R \cdot F_d$

Selon les différentes hypothèses de F_d et la limite de détection (5 ou 10 unités) les quantités sont les suivantes :

	Fd			
	1.50E+09	4.50E+08	2.00E+08	5.00E+07
lim de détection				
5 unités	900	270	120	30
10 unités	2100	630	280	70

On peut également faire le calcul suivant :

$$R_m \approx (N D_b + N D_s) / (N H_b + N H_s)$$

où N représente le nombre de moles et D et H le pourcentage de D et H dans b et s le fluide naturel (brine) et le spike.

Le facteur de dilution Fd, exprimé en nombre de moles dans lequel on dilue le spike, varie de $6.7 \cdot 10^7$ - $8.9 \cdot 10^6$ - $2.2 \cdot 10^6$ moles ($1.5 \cdot 10^9$ - $2 \cdot 10^8$ - $5 \cdot 10^7$ litres). C'est le paramètre N de l'équation précédente.

$$\text{On a } S = (R_m * N * H_b - N * D_b) / (D_s - R_m * H_s)$$

avec $H_b = 99.9852$ (on a choisi une eau naturelle avec un delta = 0 et non -41)
 $D_b = 0.0148$
 $H_s = 1$
 $D_s = 99$

Pour $R_m = R_b + 5$ on a $R_m = 1.4876 \cdot 10^{-4}$

Pour $R_m = R_b + 10$ on a $R_m = 1.495 \cdot 10^{-4}$

La combinaison des 2 valeurs de limite de détection avec les valeurs de Fd donnent six valeurs de Q en litres :

lim = 5, Fd = $2 \cdot 10^8$	lim = 10, Fd = $2 \cdot 10^8$	lim = 5, Fd = $1.5 \cdot 10^9$	lim = 10, Fd = $1.5 \cdot 10^9$
150 l	300 l	1120 l	2240 l

lim = 5, Fd = $5 \cdot 10^7$	lim = 10, Fd = $5 \cdot 10^7$
37 l	74 l

On obtient bien des chiffres identiques à ceux du calcul précédent et qui sont en accord avec l'évolution du delta en fonction de la dilution en annexe.

Ces différents calculs montrent que des quantités de quelques centaines de Kg de fluorescéine et d'acide benzoïque sont suffisantes pour réaliser le test et qu'il ne semble pas judicieux d'augmenter ces quantités (bien que l'on n'ait pas tenu compte de la dégradation avec la température). Pour le deutérium, étant donné que notre volonté est de l'injecter dans la fracture à 3500 m, on peut raisonnablement privilégier les hypothèses basses et dans ce cas, la modélisation avec CATHY indique que des valeurs de quelques dizaines de litres seraient suffisantes. On pourrait donc conserver le programme de traçage initialement prévu c'est à dire entre 150 et 300 kg de fluo et des quantités équivalentes d'acide benzoïque et un maximum de 50 litres de deutérium (coût 75 KF). On prend un risque de ne pas revoir le deutérium mais le coût de cet ajout ne compromet pas l'autre partie du traçage puisque les quantités semblent suffisantes même dans le cas le plus défavorable.

ANNEXE

Valeur eau "normale"

D	H
0.0148	99.9852

Valeur spike

D	H
99	1

% spike ds

1 l eau

mélange

	Quantité D	Quantité H	D/H	delta
1E-09	0.0148001	99.9852	0.000148	0.01
0.0000001	0.014801	99.985199	0.000148	0.07
0.0000001	0.0148099	99.98519	0.0001481	0.67
0.0000002	0.0148198	99.98518	0.0001482	1.34
0.0000005	0.0148495	99.985151	0.0001485	3.34
0.0000007	0.0148693	99.985131	0.0001487	4.68
0.000001	0.014899	99.985101	0.000149	6.69
0.00001	0.0157899	99.98421	0.0001579	66.89
0.0001	0.0246985	99.975301	0.000247	668.98
0.001	0.1137852	99.886215	0.0011391	6695.81
0.01	1.004652	98.995348	0.0101485	67560.64
0.1	9.91332	90.08668	0.110042	742417.14
1	99	1	99	668818951.64
0	0.0148	99.9852	0.000148	0.00

Protocole de préparation de la solution de traceurs (acide benzoïque et fluorescéine)

Ce protocole a été établi d'après les résultats de tests de dissolution en laboratoire. Il respecte les contraintes suivantes :

- **Le pH de la solution de traceurs doit être le plus proche possible de celui du fluide de Soultz non dégazé, qui est de 5 environ.**
- **Le volume de la solution ne doit pas excéder quelques mètres cubes pour des raisons de facilité de mise en oeuvre.**
- **L'acide benzoïque doit rester en solution une fois mélangé au fluide de Soultz.**

Les données du fournisseur Merck donnent :

- La solubilité de l'acide benzoïque dans l'eau égale à 2,9 g/l à 20 °C, 12 g/l à 60 °C, et 68 g/l à 95 °C. Cette solubilité augmente avec la température.
- La solubilité de la fluorescéine sodique (uranine) supérieure à 400 g/l à 20°C.

Les résultats des tests de Laboratoire montrent que :

1) La vitesse de dissolution de l'acide benzoïque dans l'eau est très faible. Par contre, elle est très élevée dans une solution de soude concentrée (pH > 13). La dissolution de l'acide benzoïque doit donc se faire dans un petit volume d'eau initial, pour limiter la quantité de soude ajoutée. **Dans un volume de 1 m³, les tests montrent qu'il faut ajouter d'abord 100 kg de soude (soit 2500 moles), puis dissoudre les 300 kg d'acide benzoïque (soit 2456,6 moles).** La concentration de l'acide en solution est alors de 300 g/l. L'opération ne peut pas se faire progressivement en maintenant un pH bas, car la concentration de soude n'est alors plus suffisante pour accélérer la vitesse de dissolution.

2) Une fois tout l'acide benzoïque dissous dans le petit volume initial, **il faut ajouter de l'eau jusqu'à obtenir un volume total de 6 m³, de manière à ramener la concentration de l'acide à 50 g/l.** Le pH de la solution devrait alors se situer aux alentours de 10.

3) La troisième partie de l'opération consiste à ajouter une quantité d'acide chlorhydrique suffisante pour abaisser le pH jusqu'à 5,5 environ. Les tests montrent qu'il n'y a aucune précipitation de l'acide benzoïque à cette concentration jusqu'à un pH de 5,2. **La quantité d'acide à ajouter pour neutraliser l'excès de soude (environ 50 moles) est de l'ordre de 5 litres d'acide chlorhydrique à 30 %.** On ne peut pas ajouter l'HCl directement dans la solution concentrée d'acide benzoïque à 300 g/l, car il y a précipitation de ce dernier à un pH supérieur à 9.

4) **L'ajout des 150 kg de fluorescéine ne se fera qu'à la fin de ces opérations,** de manière à pouvoir contrôler en permanence de manière visuelle l'état de la solution. Les tests montrent que l'ajout de fluorescéine n'a aucun effet sur la solubilité de l'acide benzoïque.

L'ajout de sel jusqu'à 100 g/l dans la solution de traçage n'a provoqué aucune reprecipitation, et une modélisation avec SOLMINEQ a montré qu'un mélange à 10 % de la solution de traceurs avec le fluide à 60 °C et 10 bars ne provoque que des changements infimes du pH et des indices de saturation en calcite et en silice. **L'injection dans la boucle géothermique de la solution de traçage fabriquée en suivant le protocole ci-dessus ne devrait donc pas modifier l'état de saturation des minéraux du fluide de Soultz, et ne devrait induire aucune précipitation de l'acide benzoïque.**

Pour réaliser l'injection, nous aurions besoin de :

- un **bac ouvert** de 6 m³ au moins ;
- un **système d'agitation**, permettant le mélange efficace de volumes croissant de 1 m³ à 6 m³ ;
- une **pompe d'injection** d'un débit suffisamment élevé pour permettre l'injection de 6 m³ en quelques heures.

Le bac et le système d'agitation doivent résister à des solutions chaudes de pH élevé (> 13). D'autre part, l'ensemble du matériel restera peut-être coloré à la suite de l'opération.

Le point d'injection devrait de préférence se situer après la boîte à filtres, ou cette dernière devrait être court-circuitée, de manière à ne pas empêcher l'injection de traceur si un début de reprecipitation devait s'amorcer. Avec l'augmentation de température et la dilution, ce problème ne se poserait plus dans l'aquifère.

Tableau récapitulatif des conditions d'injection des traceurs

Traceurs Injectés	Conditions de l'injection "officielles"			
	Date d'injection	Heure d'injection	Volume préparé	Temps d'injection
			l	mn
Deutérium (dump-bailer)	30/07/97	16:00 et 20:30	2 x 20 (3450 m)	2 x instantané
Fluorescéine	01/08/97	13:00 - 14:35	6200	95
Acide benzoïque	01/08/97	13:00 - 14:35	6200	95
Rhodamine	09/10/97	17:35 - 18:10	2600	35
Amino-G (<i>pur à 60%</i>)	23/10/97	16:53 - 17:33	2150	40

Traceurs Injectés	Conditions de l'injection estimées			
	Date d'injection	Heure d'injection	Vol. principal injecté (pulse)	Temps d'injection
			l	mn
Deutérium (dump-bailer)	30/07/97	16:00 et 20:30	< 2 x 20 (3450 m)	2 x instantané
Fluorescéine	01/08/97	13:00 - 14:05	5200	65
Acide benzoïque	01/08/97	13:00 - 14:05	5200	65
Rhodamine	09/10/97	17:35 - 18:00	2000	25
Amino-G (<i>pur à 60%</i>)	23/10/97	16:53 - 17:18	2000	25

Traceurs Injectés	Concentrations dans le bac d'injection des traceurs			
	Masse de traceur	Vol. total de solution	Conc. théorique	Conc. moy. mesurée
	kg	m3	g/l	g/l
Deutérium (dump-bailer)	42.9516	0.04	-	-
Fluorescéine	150	6.2	24.2	24.3
Acide benzoïque	292	6.2	47.1	47.38
Rhodamine	22.7	2.6	8.7	7.36
Amino-G (<i>pur à 60%</i>)	28.8	2.15	13.4	13.76

Traceurs Injectés	Concentrations initiales C0 en tête du forage GPK1			
	Débit d'injection	Débit fluide vecteur	C0 théorique	C0 moy. mesurée
	l/mn	l/mn	g/l	g/l
Deutérium (dump-bailer)	-	-	-	-
Fluorescéine	79.8	1260	1.54	1.06
Acide benzoïque	79.8	1260	3	2.26
Rhodamine	79.8	1356	0.43	0.37
Amino-G (<i>pur à 60%</i>)	79.8	1338	0.82	3.75

Valeurs en italique : valeurs estimées

valeurs en italique gras : valeurs peu sûres

Tests de traçage à Soultz-sous-Forêts
Procédure d'échantillonnage
1. Rythme et point d'échantillonnage à partir du 08/08/97

L'échantillonnage est réalisé 6 fois par jour au point KP3, c'est-à-dire toutes les 4 heures : 08 h, 12 h, 16 h, 20 h, 00 h, 04 h. Les échantillons de 20 h, 00 h, et 04 h sont prélevés par le technicien Socomine de permanence en charge du suivi du test de circulation.

2. Procédure générale de prélèvement

- Ouvrir doucement la vanne, et attendre 2 mn que le fluide ait rincé le serpentin de refroidissement.
- Rincer 3 fois chaque flacon de prélèvement.
- Prélever en évitant au maximum l'agitation et le mélange avec l'air : le débit du fluide doit être faible.
- Ne pas toucher le serpentin avec le flacon (risque de contamination). Bien rincer l'extérieur du flacon à l'eau du robinet après le prélèvement (diminution du risque de contamination). Laver régulièrement le serpentin de refroidissement et la vanne (diminution du risque de contamination).

3. Types de prélèvements à 08 h (7 flacons)
Pour les analyses des traceurs :

- 100 ml polyéthylène noir ou polyéthylène translucide emballé dans du papier aluminium : échantillon pour analyses fluorescéine sur place (mesure qualitative), et fluorescéine, rhodamine WT et amino-G au BRGM à Orléans (mesures quantitatives).
- 100 ml polyéthylène noir : échantillon à fournir à Socomine (analyses par P. Rose du Laboratoire de l'EGI).
- 100 ml verre fumé ou polyéthylène : échantillon pour analyse acide benzoïque.
- 100 ml polyéthylène + papier parafilm autour du bouchon : échantillon pour analyse deutérium.
- 100 ml polyéthylène noir ou polyéthylène translucide emballé dans du papier aluminium : eau brute en réserve (témoin).

Pour les analyses physico-chimiques :

- 1000 ml polyéthylène : eau brute pour les analyses sur place (pH, conductivité, potentiel rédox, alcalinité, chlorure, calcium, silice).
- 100 ml polyéthylène : pour mesure densité, à fournir à Socomine.

Remarque :

Le flacon de 1000 ml servant au prélèvement de 8 h (prélèvement destiné à la réalisation des analyses physico-chimiques du fluide de Soultz) est conservé pour le prélèvement du jour suivant. Lorsque le conditionnement des échantillons est terminé, et que les analyses ont été faites, le flacon doit être rincé à l'eau du robinet, puis à l'eau déminéralisée, et mis à égoutter.

4. Types de prélèvements à 12 h, 16 h, 20 h, 00 h, 04 h (2 flacons)

Pour les analyses des traceurs :

- 100 ml polyéthylène noir ou polyéthylène translucide emballé dans du papier aluminium : échantillon pour analyses fluorescéine sur place (mesure qualitative), et fluorescéine et rhodamine au BRGM à Orléans (mesures quantitatives).
- 100 ml polyéthylène noir ou polyéthylène translucide emballé dans du papier aluminium : eau brute en réserve (témoin).

5. Conditionnements sur le prélèvement de 08 h

- Conditionnement cations : filtrer à 0.45 µm 100 ml d'eau brute dans un flacon polyéthylène 100 ml noté " + " (appareil à filtration à azote), ajouter 10 gouttes d'HNO₃-.
- Conditionnement anions : filtrer à 0.45 µm 100 ml d'eau brute dans un flacon polyéthylène 100 ml noté " - " (appareil à filtration à azote).
- Conditionnement silice : diluer une partie aliquote du " conditionnement cations " (cf. ci-dessus) au 1/10^{ème} dans un tube en polyéthylène bouché de 15 ml.

[Procédure : peser 9 g d'eau Milli-Q (pas d'eau déminéralisée !), ajouter 1 ml d'eau conditionnée pour l'analyse des cations (filtrée, acidifiée), boucher et bien mélanger.]

6. Conservation et envoi des échantillons au BRGM à Orléans

- Les échantillons sont impérativement conservés à l'obscurité au réfrigérateur, dans l'attente de leur envoi au BRGM.
- Chaque soir avant 17 h, une glacière avec blocs réfrigérants contenant les échantillons destinés à l'analyse de la rhodamine sera envoyée par Chronopost au laboratoire de chimie analytique du BRGM à Orléans. Chaque jour seront donc envoyés les échantillons prélevés pendant la nuit précédente et le jour même, c'est-à-dire à 20 h, 00 h, 04 h, 08 h, 12h, 16 h.
- Chaque jour, le technicien en charge de l'analyse des traceurs au laboratoire de chimie analytique du BRGM se chargera de récupérer la glacière contenant les échantillons à analyser.
- En retour, chaque jour, le technicien en charge de l'analyse des traceurs fera envoyer à Soultz par Chronopost une glacière avec un lot de blocs réfrigérants. A l'arrivée de la glacière, le technicien BRGM présent sur site placera immédiatement les bacs réfrigérants au congélateur.
- Au début de la période de rotation des glacières, une glacière de réserve avec ses blocs réfrigérants sera envoyée à Soultz, de manière à éviter toute rupture de la chaîne de transport en cas d'imprévu.

7. Récapitulatif des échantillons à fournir à Socomine

- 100 ml polyéthylène noir (prélevé à KP4 à 8 h): analyses fluorescéine et rhodamine par P. Rose.
- 100 ml polyéthylène (prélevé à KP4 à 8 h) : pour mesure densité.
- 6 x 100 ml polyéthylène emballé dans du papier aluminium : pour prélèvements à 20 h , 00 h, 04 h.

Remarque importante :

Les 6 flacons de 100 ml (en polyéthylène noir ou translucide emballé dans du papier aluminium) destinés aux prélèvements de la nuit doivent être fournis au technicien Socomine de permanence à la fin de chaque journée de travail. Ces flacons doivent être étiquetés, numérotés et datés, l'heure de prélèvement figurant explicitement (20 :00, 00 :00 ou 04 :00) en plus du numéro d'échantillon KP4-mm-97-xxx. De cette manière, il n'y aura pas d'ambiguïté pour le technicien de Socomine (qui ne connaît pas la correspondance heure de prélèvement - numéro d'échantillon).

8. Récapitulatif des analyses à effectuer sur site

- Fluorescéine (mesure qualitative après la réapparition de la rhodamine) sur tous les prélèvements.
- pH, conductivité, potentiel rédox, alcalinité, chlorure, calcium, silice sur le prélèvement de 8 h.

Les modes opératoires de chaque type d'analyse sont affichés dans le laboratoire sur site mis à disposition de l'équipe géochimie par Socomine.

Test de traçage - Été 1997, Soultz-sous-Forêts - Tableau des résultats d'analyses des traceurs

Test de traçage - Été 1997, Soultz-sous-Forêts - Tableau des résultats d'analyses des traceurs																					
N° Echantillon	Date	Heure	h. cum D2O	Deutérium		h. cum fluo acide	j. cum fluo (EGI)	Fluorescéine sodique (urinaire)					Acide benzoïque		h. cum rhod.	Rhodamine		h. cum amino	Acide amino-G		Remarques
				BRGM ‰	mol/kg			Mesure terrain µg/l	BRGM µg/kg	BRGM corrigé µg/kg	EGI µg/l	EGI 2 µg/l	BRGM mg/l	EGI mg/kg		BRGM µg/l	EGI µg/kg		BRGM µg/l	EGI µg/kg	
KP3-97-07-1 KP3-97-07-2 KP3-97-07-3 KP3-97-07-4 stop 21:30	12/07/97	08.00																			Légende
	12/07/97	12.00																			Pas de circulation du fluide = date en gras Italique
	12/07/97	15.00	1.045																		Absence de prélèvements = Pas de n° d'échantillon
	12/07/97	20.00	1.045																		Valeur inférieure à la limite de détection = valeur à zéro
	13/07/97	00.00	1.046																		Remarque = texte en gras
	13/07/97	04.00	1.046																		Deutérium
	13/07/97	08.00	1.047																		Incertitude : 0.8 ‰
	13/07/97	12.00	1.048																		Acide Benzoïque
	13/07/97	16.00	1.048																		Limite de détection : 10 µg/l
	13/07/97	20.00	1.047																		Précision : ±/- 2 %
	14/07/97	00.00	1.047																		Fluorescéine
	14/07/97	04.00	1.047																		Limite de détection : Terrain 50 µg/l - Labo 1 µg/l
	14/07/97	08.00	1.047																		Précision : Terrain ±/- 15 % - Labo ±/- 2
	14/07/97	12.00	1.047																		Rhodamine WT
	restart 11:45 KP3-97-07-5 KP3-97-07-6 KP3-97-07-7 KP3-97-07-8 KP3-97-07-9 KP3-97-07-10 KP3-97-07-11	14/07/97	16.00	1.047																	
16/07/97		20.00	1.047	-332		-376															Précision : ±/- 4 %
17/07/97		00.00	1.047	-328		-372															Acide amino-G
17/07/97		04.00	1.047	-324		-368															Limite de détection : 10 µg/l
17/07/97		08.00	1.047	-320		-364															Précision : ±/- 10 %
17/07/97		12.00	1.047	-316		-360															
17/07/97		16.00	1.047	-312		-356															
17/07/97		20.00	1.047	-308		-352															
18/07/97		00.00	1.047	-304		-348															
18/07/97		04.00	1.047	-300		-344															
18/07/97		08.00	1.047	-296		-340															
18/07/97		12.00	1.047	-292		-336															
18/07/97		15.30	1.047	-288		-332						0	0.00								
18/07/97		20.00	1.047	-284		-328															
19/07/97		00.00	1.048	-280		-324															
19/07/97	04.00	1.048	-276		-320																
19/07/97	09.30	1.048	-272		-316						0	0.00									
19/07/97	12.00	1.049	-268		-312																
19/07/97	16.30	1.049	-264		-308																
19/07/97	20.00	1.049	-260		-304																
20/07/97	00.00	1.05	-256		-300																
20/07/97	04.00	1.05	-252		-296																
20/07/97	08.00	1.05	-248		-292																
20/07/97	11.30	1.05	-244		-288																
20/07/97	18.00	1.05	-240		-284																
20/07/97	20.00	1.05	-236		-280																
21/07/97	00.00	1.05	-232		-276																
21/07/97	04.00	1.05	-228		-272																
21/07/97	08.00	1.05	-224		-268																
21/07/97	11.30	1.05	-220		-264							0	0.00								
21/07/97	17.00	1.05	-216		-260																
21/07/97	20.00	1.051	-212		-256																
22/07/97	00.00	1.051	-208		-252																
22/07/97	04.00	1.051	-204		-248																
22/07/97	08.00	1.051	-200		-244																

N° Echantillon	Date	Heure	h. cum D2O	Deuterium		h. cum fluor acide	j. cum fluor (EGI)	Fluorescéine sodique (urinaire)						Acide benzoïque		h. cum rhod.	Rhodamine		h. cum amino	Acide amino-G		Remarques
				BRGM ‰	mol/kg			Mesure terrain µg/l	µg/kg	BRGM µg/l	µg/kg	BRGM corrigé µg/l	µg/kg	EGI µg/l	EGI 2 µg/l		BRGM mg/l	mg/kg		EGI mg/l	BRGM µg/l	
Kp3-97-07-12	22/07/97	11:30	1.052	-196		-240								0	0.00							
Kp3-97-07-13	22/07/97	17:30	1.052	-192		-236																
	22/07/97	20:00	1.052	-188		-232																
	23/07/97	00:00	1.052	-184		-228																
	23/07/97	04:00	1.052	-180		-224																
	23/07/97	08:00	1.052	-176		-220																
	23/07/97	11:30	1.052	-172		-216		0	0.0	37	35.2		0	0.00								
	23/07/97	16:00	1.052	-168		-212																
Kp3-97-07-14	23/07/97	20:00	1.052	-164		-208																
	24/07/97	00:00	1.052	-160		-204																
	24/07/97	04:00	1.052	-156		-200																
	24/07/97	08:00	1.052	-152		-196																
	24/07/97	10:30	1.052	-148		-192																
	24/07/97	16:00	1.053	-144		-188																
	24/07/97	20:00	1.053	-140		-184																
Kp3-97-07-15	25/07/97	00:00	1.053	-136		-180																
	25/07/97	04:00	1.053	-132		-176																
	25/07/97	08:00	1.053	-128		-172																
	25/07/97	11:00	1.053	-124		-168																
	25/07/97	16:00	1.053	-120		-164																
	26/07/97	20:00	1.053	-116		-160																
	26/07/97	00:00	1.053	-112		-156																
Kp3-97-07-16	26/07/97	04:00	1.053	-108		-152																
	26/07/97	08:00	1.053	-104		-148																
	26/07/97	11:00	1.053	-100		-144																
	26/07/97	16:00	1.053	-96		-140																
	26/07/97	20:00	1.053	-92		-136																
	27/07/97	00:00	1.053	-88		-132																
	27/07/97	04:00	1.053	-84		-128																
Kp3-97-07-17	27/07/97	08:00	1.053	-80		-124																
	27/07/97	12:00	1.053	-76		-120																
	27/07/97	18:00	1.053	-72	-37.9	1.73E-06																
	27/07/97	20:00	1.053	-68		-112																
	28/07/97	00:00	1.054	-64		-108																
	28/07/97	04:00	1.054	-60		-104																
	28/07/97	08:00	1.054	-56		-100																
Kp3-97-07-18	28/07/97	11:00	1.054	-52	-38.3	#####		0	0.0	24	22.8		0	0.00								
	28/07/97	16:00	1.054	-48		-92																
	28/07/97	20:00	1.054	-44		-88																
	29/07/97	00:00	1.054	-40		-84																
	29/07/97	04:00	1.054	-36		-80																
	29/07/97	08:00	1.054	-32		-76																
	29/07/97	11:00	1.054	-28		-72							0	0.00								
Kp3-97-07-19	29/07/97	16:00	1.054	-24		-68																
	29/07/97	20:00	1.054	-20		-64																
	30/07/97	00:00	1.054	-16		-60																
	30/07/97	04:00	1.054	-12		-56																
	30/07/97	08:00	1.055	-8		-52																
	30/07/97	11:00	1.055	-4	-38	#####																
	30/07/97	16:00	1.055	0		-44																
Kp3-97-07-20	30/07/97	20:00	1.055	4		-40																
	31/07/97	00:00	1.055	8		-36																
	31/07/97	04:00	1.055	12		-32																
	31/07/97	08:00	1.055	16		-28																
	31/07/97	11:30	1.055	20	-38	#####																
	31/07/97	16:00	1.055	24		-20																
	31/07/97	20:00	1.055	28		-16																
Kp3-97-07-21	01/08/97	00:00	1.055	32		-12																
	01/08/97	04:00	1.055	36		-8																
	01/08/97	08:00	1.055	40		-4																
	01/08/97	12:00	1.055	44	-37.6	6.92E-06							0	0.00								
	01/08/97	16:00	1.055	48		0																
	01/08/97	20:00	1.055	52		8																
	01/08/97																					

N° Echantillon	Date	Heure	h. cum D2O	Deuterium		h. cum fluo acide	J. cum fluo (EGI)	Fluorescéine sodique (urarine)						Acide benzoïque		h. cum rhod.	Rhodamine		h. cum amino	Acide amino-G		Remarques
				‰	mol/kg			Mesure terrain µg/l µg/kg	BRGM µg/l µg/kg	BRGM corrigé µg/l µg/kg	EGI µg/l	EGI 2 µg/l	BRGM mg/l mg/kg	EGI mg/l	BRGM µg/l µg/kg		EGI µg/l	BRGM µg/l µg/kg		EGI µg/l		
KP3-97-08-24	02/08/97	00:00	1.055	56		12																
	02/08/97	04:00	1.055	60		16																
	02/08/97	08:00	1.054	64		20	1															
	02/08/97	12:30	1.054	68	-37.6	24																
	02/08/97	16:00	1.055	72		28																
	02/08/97	20:00	1.055	76		32																
KP3-97-08-25	03/08/97	00:00	1.055	80		36																
	03/08/97	04:00	1.055	84		40																
	03/08/97	08:00	1.055	88		44	2															
	03/08/97	12:00	1.056	92	-36.2	48						0	0.00									1ère valeur analyse D2O sans élimination préalable de la fluorescéine : -37.2
	03/08/97	16:00	1.056	96		52																
	03/08/97	20:00	1.056	100		56																
KP3-97-08-26	04/08/97	00:00	1.056	104		60																
	04/08/97	04:00	1.056	108		64																
	04/08/97	08:00	1.056	112		68	3															
	04/08/97	12:30	1.056	116	-35.7	72						0.12	0.11									
	04/08/97	16:00	1.056	120		76																
	04/08/97	20:00	1.056	124		80																
KP3-97-08-27	05/08/97	00:00	1.056	128		84																
	05/08/97	04:00	1.056	132		88																
	05/08/97	08:00	1.056	136		92																
	05/08/97	12:00	1.056	140		96						0.42	0.40									
	05/08/97	16:00	1.056	144		100																
	05/08/97	20:00	1.056	148		104																
stop 06:15	06/08/97	00:00	1.056	152		108																
	06/08/97	04:00	1.056	156		112																
	06/08/97	08:00	1.056	160		116	5															
	06/08/97	12:00	1.056	164		120																
	06/08/97	16:00	1.057	168		124																
	06/08/97	20:00	1.057	172		128																
restart 10:30	07/08/97	00:00	1.057	176		132																
	07/08/97	04:00	1.057	180		136																
	07/08/97	08:00	1.057	184		140	6															
	07/08/97	12:00	1.057	188		144																
	07/08/97	16:00	1.057	192		148																
	07/08/97	20:00	1.057	196		152																
KP3-97-08-28	08/08/97	00:00	1.057	200		156																
	08/08/97	04:00	1.057	204		160																
	08/08/97	08:00	1.057	208		164																
	08/08/97	12:30	1.057	212	-35	168						0.86	0.81									
	08/08/97	16:00	1.057	216		172																
	08/08/97	20:00	1.057	220		176																
KP3-97-08-29	09/08/97	00:00	1.057	224		180																
KP3-97-08-30	09/08/97	04:00	1.057	228		184																
KP3-97-08-31	09/08/97	08:00	1.057	232	-35.4	188	8	303	286.7	233	220.5		0.89	0.84								2ème valeur ac. benz = 0.83
KP3-97-08-32	09/08/97	13:00	1.057	236		192																
KP3-97-08-33	09/08/97	16:45	1.057	240		196																
KP3-97-08-34	09/08/97	20:00	1.057	244		200		339	320.9	186	176.1		0.86	0.81								
KP3-97-08-35	10/08/97	00:00	1.057	248		204		380	359.6	356	336.9		0.88	0.83								
KP3-97-08-36	10/08/97	04:00	1.057	252		208		376	355.7	350	331.1		0.87	0.82								
KP3-97-08-37	10/08/97	08:00	1.057	256	-34.6	212	9	315	297.9	206	194.8		0.98	0.93								2ème valeur ac. benz = 0.87
KP3-97-08-38	10/08/97	11:30	1.057	260		216																
KP3-97-08-39	10/08/97	16:00	1.058	264		220																
KP3-97-08-40	10/08/97	20:00	1.058	268		224																
KP3-97-08-41	11/08/97	00:00	1.058	272		228																
KP3-97-08-42	11/08/97	04:00	1.058	276		232																
KP3-97-08-43	11/08/97	08:00	1.058	280	-33.9	236	10			222	209.8											
KP3-97-08-44	11/08/97	12:00	1.058	284		240		352	332.6				0.95	0.90								
KP3-97-08-45	11/08/97	16:00	1.059	288		244																
KP3-97-08-46	11/08/97	20:30	1.059	292		248		349	329.5	270	254.9		1.19	1.12								
KP3-97-08-47	12/08/97	00:00	1.06	296		252		368	347.2	263	248.2		0.92	0.87								
KP3-97-08-48	12/08/97	04:00	1.06	300		256		400	377.3				0.92	0.87								
KP3-97-08-49	12/08/97	08:00	1.061	304	-34.9	260	11	329	310.2	226	213.1		1.14	1.07								

N° Echantillon	Date	Heure	h. cum D2O	Deuterium		h. cum fluor acide	j. cum fluor (EGI)	Fluorescéine sodique (urarine)						Acide benzoïque		h. cum rhod.	Rhodamine		h. cum amino	Acide amino-G		Remarques
				BRGM ‰	mol/kg			Mesure terrain µg/l	BRGM µg/kg	BRGM corrigé µg/kg	EGI µg/l	EGI 2 µg/l	BRGM mg/l	EGI mg/kg	BRGM µg/l		EGI µg/l	BRGM µg/l		EGI µg/l		
KP3-97-08-51	12/08/97	12.00	1.06	308		264																
KP3-97-08-52	12/08/97	16.00	1.06	312		268																
KP3-97-08-53	12/08/97	20.30	1.06	316		272																
KP3-97-08-54	13/08/97	00.00	1.06	320		276																
KP3-97-08-55	13/08/97	04.00	1.059	324		280																
KP3-97-08-56	13/08/97	08.00	1.059	328	-35.4	284	12	320	302.1	207	195.4		1.1	1.04								
KP3-97-08-57	13/08/97	12.00	1.059	332		288																
KP3-97-08-58	13/08/97	16.00	1.06	336		292																
KP3-97-08-59	13/08/97	20.00	1.06	340		296																
KP3-97-08-60	14/08/97	00.00	1.06	344		300																
KP3-97-08-61	14/08/97	04.00	1.061	348		304																
KP3-97-08-62	14/08/97	08.00	1.061	352	-36.3	308	13	318	299.7	229	215.8		1.03	0.97								
KP3-97-08-63	14/08/97	12.00	1.061	356		312																
KP3-97-08-64	14/08/97	16.00	1.06	360		316																
KP3-97-08-65	14/08/97	20.00	1.059	364		320							0.99	0.93								
KP3-97-08-66	15/08/97	00.00	1.059	368		324																
KP3-97-08-67	15/08/97	04.00	1.058	372		328																
KP3-97-08-68	15/08/97	08.00	1.058	376	-36	332	14	328	310.0	273	258.1		1.1	1.04								
KP3-97-08-69	15/08/97	12.00	1.058	380		336																
KP3-97-08-70	15/08/97	16.00	1.058	384		340																
KP3-97-08-71	15/08/97	20.00	1.058	388		344							0.93	0.88								
KP3-97-08-72	16/08/97	00.00	1.058	392		348																
KP3-97-08-73	16/08/97	04.00	1.058	396		352																
KP3-97-08-74	16/08/97	08.00	1.058	400	-36.1	356	15						0.97	0.92								
KP3-97-08-75	16/08/97	12.00	1.058	404	-36.2	360																
KP3-97-08-76	16/08/97	16.00	1.058	408		364							0.96	0.91								
KP3-97-08-77	16/08/97	20.00	1.058	412		368																
	17/08/97	00.00	1.058	416		372																
KP3-97-08-78	17/08/97	04.00	1.058	420		376																
	17/08/97	08.00	1.058	424		380	16															
KP3-97-08-79	17/08/97	12.00	1.058	428		384																
KP3-97-08-80	17/08/97	16.00	1.058	432		388																
KP3-97-08-81	17/08/97	20.00	1.058	436		392							0.99	0.94								
KP3-97-08-82	18/08/97	00.00	1.058	440		396																
KP3-97-08-83	18/08/97	04.00	1.058	444		400							1.02	0.96								
KP3-97-08-84	18/08/97	08.00	1.058	448	-19.9	404	17	346	327.0	248	234.4											
KP3-97-08-85	18/08/97	12.00	1.058	452		408																
KP3-97-08-86	18/08/97	16.00	1.058	456		412							0.92	0.87								
KP3-97-08-87	18/08/97	20.00	1.058	460	-35.1	416																
KP3-97-08-88	19/08/97	00.00	1.058	464		420																
KP3-97-08-89	19/08/97	04.00	1.059	468		424																
KP3-97-08-90	19/08/97	08.00	1.059	472	-30.8	428	18	333	314.6	151	142.7		0.95	0.90								
KP3-97-08-91	19/08/97	12.00	1.059	476		432																
KP3-97-08-92	19/08/97	16.00	1.059	480		436																
	19/08/97	20.00	1.059	484		440																

tère valeur analyse D2O
sans élimination préalable
de la fluorescéine : -20.9

N° Echantillon	Date	Heure	h. cum D2O	Deuterium		h. cum fluor acide	j. cum fluor (EG)	Fluorescéine sodique (urinaire)						Acide benzoïque			h. cum rhod.	Rhodamine			h. cum amino	Acide amino-G			Remarques
				BRGM ‰	mol/kg			Mesure terrain µg/l	µg/kg	BRGM µg/l	µg/kg	BRGM corrigé µg/l	µg/kg	EG1 µg/l	EG1 2 µg/l	BRGM mg/l		mg/kg	EG1 mg/l	BRGM µg/l		µg/kg	EG1 µg/l		
KP3-97-08-108	23/08/97	00:00	1.06	560		516																			
KP3-97-08-109	23/08/97	04:00	1.06	564		520																			
KP3-97-08-110	23/08/97	08:00	1.06	568	-32	1.04E-04	22	308	290.7	187	176.5					0.86	0.81								
KP3-97-08-111	23/08/97	12:00	1.06	572		528																			
KP3-97-08-112	23/08/97	16:00	1.06	576		532																			
KP3-97-08-113	23/08/97	20:00	1.06	580		536										0.86	0.81								
KP3-97-08-114	24/08/97	00:00	1.06	584	-35.8	3.80E-05																			
KP3-97-08-115	24/08/97	04:00	1.06	588		544																			
KP3-97-08-116	24/08/97	08:00	1.06	592	-35.8	3.80E-05	23	324	305.6	207	195.3			406.8		1.05	0.99	0.84							
KP3-97-08-117	24/08/97	12:00	1.06	596		552																			
KP3-97-08-118	24/08/97	16:00	1.06	600		556																			
KP3-97-08-119	24/08/97	20:00	1.06	604		560										0.82	0.77								
KP3-97-08-120	25/08/97	00:00	1.06	608		564																			
KP3-97-08-121	25/08/97	04:00	1.06	612		568																			
KP3-97-08-122	25/08/97	08:00	1.059	616	-35.7	3.98E-05	24	304	287.0	183	172.7			424.8	496.7	0.75	0.71	0.83							
KP3-97-08-123	25/08/97	12:00	1.06	620		576																			
KP3-97-08-124	25/08/97	16:00	1.06	624		580																			
KP3-97-08-125	25/08/97	20:00	1.06	628		584																			
KP3-97-08-126	26/08/97	00:00	1.06	632		588																			
KP3-97-08-127	26/08/97	04:00	1.06	636		592																			
KP3-97-08-128	26/08/97	08:00	1.06	640	-36.4	2.77E-05	25	296	279.2	141	133.0			391.6		0.8	0.75	0.8							
KP3-97-08-129	26/08/97	12:00	1.06	644		600																			
KP3-97-08-130	26/08/97	16:00	1.06	648		604																			
KP3-97-08-131	26/08/97	20:00	1.06	652		608																			
KP3-97-08-132	27/08/97	00:00	1.06	656		612																			
KP3-97-08-133	27/08/97	04:00	1.06	660		616																			
KP3-97-08-134	27/08/97	08:00	1.06	664	-36.5	2.59E-05	26	268	252.9	142	134.0			374.6		0.78	0.74	0.78							
KP3-97-08-135	27/08/97	10:50	1.06	668		624																			
stop 11:45	27/08/97	16:00	1.06	672		628																			
restart 20:15	27/08/97	20:00	1.06	676		632																			
KP3-97-08-136	28/08/97	00:00	1.06	680		636																			
	28/08/97	04:00	1.06	684		640																			
KP3-97-08-137	28/08/97	08:00	1.06	688		644	27	276	260.5	132	124.6			348		0.78	0.74	0.75							
KP3-97-08-138	28/08/97	12:00	1.06	692		648																			
KP3-97-08-139	28/08/97	16:00	1.06	696		652																			
KP3-97-08-140	28/08/97	20:00	1.06	700		656																			
KP3-97-08-141	29/08/97	00:00	1.06	704		660																			
KP3-97-08-142	29/08/97	04:00	1.06	708		664																			
KP3-97-08-143	29/08/97	08:00	1.06	712	-33.4	7.95E-05	28	269	253.9	170	160.4			289.6				0.72							
KP3-97-08-144	29/08/97	12:00	1.06	716		672																			
KP3-97-08-145	29/08/97	16:00	1.06	720		676																			
KP3-97-08-146	29/08/97	20:00	1.06	724		680																			
KP3-97-08-147	30/08/97	00:00	1.06	728		684																			
KP3-97-08-148	30/08/97	04:00	1.06	732		688																			
KP3-97-08-149	30/08/97	08:00	1.06	736		692	29			164	154.7					0.75	0.71								
KP3-97-08-150	30/08/97	12:00	1.06	740		696																			
KP3-97-08-151	30/08/97	16:00	1.06	744		700																			
KP3-97-08-152	30/08/97	20:00	1.06	748		704																			
KP3-97-08-153	31/08/97	00:00	1.06	752		708																			
KP3-97-08-154	31/08/97	04:00	1.061	756		712																			
KP3-97-08-155	31/08/97	08:00	1.061	760	-35.4	4.50E-05	30																		
KP3-97-08-156	31/08/97	12:00	1.061	764		720																			
KP3-97-08-157	31/08/97	16:00	1.061	768		724																			
KP3-97-08-158	31/08/97	20:00	1.061	772		728																			
KP3-97-09-159	01/09/97	00:00	1.061	776		732																			
KP3-97-09-160	01/09/97	04:00	1.061	780		736																			
KP3-97-09-161	01/09/97	08:00	1.061	784		740	31	263	247.8	141	132.9			275.6		0.7	0.66								
KP3-97-09-162	01/09/97	12:00	1.061	788		744																			
KP3-97-09-163	01/09/97	16:00	1.06	792		748																			
KP3-97-09-164	01/09/97	20:00	1.06	796		752																			
KP3-97-09-165	02/09/97	00:00	1.06	800		756																			
KP3-97-09-166	02/09/97	04:00	1.059	804		760																			
KP3-97-09-167	02/09/97	08:00	1.059	808	-36	3.46E-05	32	229	216.3	122	115.2														

N° Echantillon	Date	Heure	h. cum D2O	Deuterium		h. cum fluor acide	J. cum fluor (EGI)	Fluorescéine sodique (urarine)						Acide benzoïque		h. cum rhod.	Rhodamine		h. cum amino	Acide amino-G		Remarques
				BRGM ‰ mol/kg				Mesure terrain µg/l	BRGM µg/kg	BRGM corrigé µg/l	EGI µg/kg	EGI 2 µg/l	BRGM mg/l	EGI mg/kg	BRGM µg/l		EGI µg/kg					
KP3-97-09-168	02/09/97	12.00	1.059	812		768																
KP3-97-09-169	02/09/97	16.00	1.058	816		772																
KP3-97-09-170	02/09/97	20.00	1.058	820		776																
KP3-97-09-171	03/09/97	00.00	1.058	824		780																
KP3-97-09-172	03/09/97	04.00	1.058	828		784																
KP3-97-09-173	03/09/97	08.00	1.058	832		788	33	221	208.9	124	117.2		289.6		0.68	0.64						
KP3-97-09-174	03/09/97	12.00	1.058	836		792																
KP3-97-09-175	03/09/97	16.00	1.059	840		796																
KP3-97-09-176	03/09/97	20.00	1.059	844		800																
KP3-97-09-177	04/09/97	00.00	1.06	848		804																
KP3-97-09-178	04/09/97	04.00	1.06	852		808																
KP3-97-09-179	04/09/97	08.00	1.061	856	-36.4	2.77E-05																
KP3-97-09-180	04/09/97	12.00	1.061	860		812	34	185	174.4	95	89.6		283.2	409.2								
KP3-97-09-181	04/09/97	16.00	1.061	864		816																
KP3-97-09-182	04/09/97	20.00	1.061	868		820																
KP3-97-09-183	05/09/97	00.00	1.061	872		824																
KP3-97-09-184	05/09/97	04.00	1.06	876		828																
KP3-97-09-185	05/09/97	08.00	1.06	880		832	35	224	211.3	142	133.9		220.8		0.65	0.61						
KP3-97-09-186	05/09/97	12.00	1.06	884		836																
KP3-97-09-187	05/09/97	16.00	1.06	888		840																
KP3-97-09-188	05/09/97	20.00	1.06	892		844																
KP3-97-09-189	06/09/97	00.00	1.06	896		848																
KP3-97-09-190	06/09/97	04.00	1.06	900		852																
KP3-97-09-191	06/09/97	08.00	1.06	904	-33.8	7.26E-05																
KP3-97-09-192	06/09/97	12.00	1.06	908		856	36	198	188.8	90	84.9		300									
KP3-97-09-193	06/09/97	16.00	1.061	912		860																
KP3-97-09-194	06/09/97	20.00	1.061	916		864																
KP3-97-09-195	07/09/97	00.00	1.061	920		868																
KP3-97-09-196	07/09/97	04.00	1.061	924		872																
KP3-97-09-197	07/09/97	08.00	1.062	928		876	37	224	211.0	103	101.7		284.4		0.61	0.57						
KP3-97-09-198	07/09/97	12.00	1.061	932		880																
KP3-97-09-199	07/09/97	16.00	1.061	936		884																
KP3-97-09-200	07/09/97	20.00	1.061	940		888																
KP3-97-09-201	08/09/97	00.00	1.061	944		892																
KP3-97-09-202	08/09/97	04.00	1.06	948		896																
KP3-97-09-203	08/09/97	08.00	1.06	952	-36.5	2.59E-05																
KP3-97-09-204	08/09/97	12.00	1.06	956		900	38	238	224.5	106	100.0		286.8		0.63	0.59						
KP3-97-09-205	08/09/97	16.00	1.06	960		904																
KP3-97-09-206	08/09/97	20.00	1.061	964		908																
KP3-97-09-207	09/09/97	00.00	1.061	968		912																
KP3-97-09-208	09/09/97	04.00	1.061	972		916																
KP3-97-09-209	09/09/97	08.00	1.061	976		920	39	212	199.8	103	97.1		222.8		0.61	0.57						
KP3-97-09-210	09/09/97	12.00	1.061	980		924																
KP3-97-09-211	09/09/97	16.00	1.061	984		928																
KP3-97-09-212	09/09/97	20.00	1.061	988		932																
KP3-97-09-213	10/09/97	00.00	1.061	992		936																
KP3-97-09-214	10/09/97	04.00	1.061	996		940																
KP3-97-09-215	10/09/97	08.00	1.061	1000	-34.7	5.71E-05																
KP3-97-09-216	10/09/97	12.00	1.061	1004		944	40	139	131.0	89	83.9				0.6	0.57						
KP3-97-09-217	10/09/97	16.00	1.061	1008		948																
KP3-97-09-218	10/09/97	20.00	1.061	1012		952																
KP3-97-09-219	11/09/97	00.00	1.061	1016		956																
KP3-97-09-220	11/09/97	04.00	1.061	1020		960																
KP3-97-09-221	11/09/97	08.00	1.061	1024		964	41	217	204.6	97	91.5		164.8		0.56	0.53						
KP3-97-09-222	11/09/97	12.00	1.061	1028		968																
KP3-97-09-223	11/09/97	16.00	1.061	1032		972																
KP3-97-09-224	11/09/97	20.00	1.061	1036		976																
KP3-97-09-225	12/09/97	00.00	1.061	1040		980																
KP3-97-09-226	12/09/97	04.00	1.061	1044		984																
KP3-97-09-227	12/09/97	08.00	1.061	1048	-35.1	5.01E-05																
KP3-97-09-228	12/09/97	12.00	1.061	1052		988	42	206	194.2	116	109.3		169.4	329.9	0.57	0.54						
KP3-97-09-229	12/09/97	16.00	1.061	1056		992																
KP3-97-09-230	12/09/97	20.00	1.061	1060		996																

N° Echantillon	Date	Heure	h. cum D2O	Deuterium BRGM ‰ mol/kg	h. cum fluor acide	j. cum fluor (EG)	Fluorescéine sodique (urarine)						Acide benzoïque			h. cum rhod.	Rhodamine			h. cum amino	Acide amino-G			Remarques
							Mesure terrain µg/l	µg/kg	BRGM µg/l	BRGM corrigé µg/kg	EG1 µg/l	EG2 µg/l	BRGM mg/l	mg/kg	EG1 mg/l		BRGM µg/l	µg/kg	EG1 µg/l		BRGM µg/l	µg/kg	EG1 µg/l	
KP3-97-09-231	13/09/97	00:00	1.061	1064	1020																			
KP3-97-09-232	13/09/97	04:00	1.061	1068	1024																			
KP3-97-09-233	13/09/97	08:00	1.061	1072	1028	43	162	152.7	91	85.8		168.4		0.5	0.47	0.56								
KP3-97-09-234	13/09/97	12:00	1.061	1076	1032																			
KP3-97-09-235	13/09/97	16:00	1.061	1080	1036																			
	13/09/97	20:00	1.061	1084	1040																			
	14/09/97	00:00	1.061	1088	1044																			
	14/09/97	04:00	1.061	1092	1048																			
	14/09/97	08:00	1.062	1096	1052	44																		
	14/09/97	12:00	1.062	1100	1056																			
	14/09/97	16:00	1.062	1104	1060																			
	14/09/97	20:00	1.062	1108	1064																			
KP3-97-09-236	15/09/97	00:00	1.062	1112	1068																			
KP3-97-09-237	15/09/97	04:00	1.062	1116	1072																			
KP3-97-09-238	15/09/97	08:00	1.062	1120	1076	45	176	165.7	87	81.9		162.8		0.52	0.49	0.53								
KP3-97-09-239	15/09/97	12:00	1.062	1124	1080																			
KP3-97-09-240	15/09/97	16:00	1.062	1128	1084																			
KP3-97-09-241	15/09/97	20:00	1.061	1132	1088																			
KP3-97-09-242	16/09/97	00:00	1.061	1136	1092																			
KP3-97-09-243	16/09/97	04:00	1.061	1140	1096																			
KP3-97-09-244	16/09/97	08:00	1.061	1144	1100	46	162	152.7	84	79.2		166			0.53									
KP3-97-09-245	16/09/97	12:00	1.061	1148	1104																			
stop 11:00	16/09/97	16:00	1.061	1152	1108																			
restart 21:30	16/09/97	20:00	1.061	1156	1112																			
KP3-97-09-246	17/09/97	00:00	1.061	1160	1116																			
KP3-97-09-247	17/09/97	04:00	1.061	1164	1120																			
KP3-97-09-248	17/09/97	08:00	1.061	1168	1124	47	148	139.4	80	75.4		178.3		0.47	0.44	0.51								
KP3-97-09-249	17/09/97	12:00	1.062	1172	1128																			
KP3-97-09-250	17/09/97	16:00	1.062	1176	1132																			
KP3-97-09-251	17/09/97	20:00	1.062	1180	1136																			
KP3-97-09-252	18/09/97	00:00	1.062	1184	1140																			
KP3-97-09-253	18/09/97	04:00	1.062	1188	1144																			
KP3-97-09-254	18/09/97	08:00	1.062	1192	1148	48	120	113.0	81	76.3		134			0.5									
KP3-97-09-255	18/09/97	12:00	1.062	1196	1152																			
KP3-97-09-256	18/09/97	16:00	1.062	1200	1156																			
KP3-97-09-257	18/09/97	20:00	1.062	1204	1160																			
KP3-97-09-258	19/09/97	00:00	1.062	1208	1164																			
KP3-97-09-259	19/09/97	04:00	1.062	1212	1168																			
KP3-97-09-260	19/09/97	08:00	1.062	1216	1172	49	152	143.1	81	76.3		134.4		0.48	0.45	0.5								
KP3-97-09-261	19/09/97	12:00	1.062	1220	1176																			
KP3-97-09-262	19/09/97	16:00	1.062	1224	1180																			
KP3-97-09-263	19/09/97	20:00	1.062	1228	1184																			
KP3-97-09-264	20/09/97	00:00	1.062	1232	1188																			
KP3-97-09-265	20/09/97	04:00	1.061	1236	1192																			
KP3-97-09-266	20/09/97	08:00	1.061	1240	1196	50	147	138.5	81	76.3		125.2			0.5									
KP3-97-09-267	20/09/97	12:00	1.061	1244	1200																			
KP3-97-09-268	20/09/97	16:00	1.062	1248	1204																			
KP3-97-09-269	20/09/97	20:00	1.062	1252	1208																			
KP3-97-09-270	21/09/97	00:00	1.062	1256	1212																			
KP3-97-09-271	21/09/97	04:00	1.062	1260	1216																			
KP3-97-09-272	21/09/97	08:00	1.062	1264	1220	51					129.2	265.7	0.45	0.42										
KP3-97-09-273	21/09/97	12:00	1.062	1268	1224																			
KP3-97-09-274	21/09/97	16:00	1.062	1272	1228																			
KP3-97-09-275	21/09/97	20:00	1.062	1276	1232		135	127.1																
KP3-97-09-276	22/09/97	00:00	1.063	1280	1236		225	211.7																
KP3-97-09-277	22/09/97	04:00	1.063	1284	1240		147	138.3																
KP3-97-09-278	22/09/97	08:00	1.063	1288	1244	52	160	141.1			150				0.54									
KP3-97-09-279	22/09/97	12:00	1.063	1292	1248		153	144.0																
KP3-97-09-280	22/09/97	16:00	1.063	1296	1252		110	103.5																
KP3-97-09-281	22/09/97	20:00	1.063	1300	1256		164	164.3																
KP3-97-09-282	23/09/97	00:00	1.062	1304	1260		119	112.0																
KP3-97-09-283	23/09/97	04:00	1.062	1308	1264		123	116.8																
KP3-97-09-284	23/09/97	08:00	1.062	1312	1268	53	141	132.8			148		0.46	0.43	0.48									

N° Echantillon	Date	Heure	h. cum D2O	Deuterium		h. cum fluor (EGI)	Fluorescéine sodique (uranine)						Acide benzoïque		h. cum rhod.	Rhodamine		h. cum amino	Acide amino-G		Remarques
				BRGM ‰	mol/kg		Mesure terrain µg/l	BRGM µg/kg	BRGM corrigé µg/l	EGI µg/l	EGI 2 µg/l	BRGM mg/l	EGI mg/kg	BRGM µg/l		EGI µg/kg	BRGM µg/l		EGI µg/kg		
KP3-97-09-285	23/09/97	12.00	1.063	1316		1272	142	133.6												Valeur peu sûre	
KP3-97-09-286	23/09/97	16.00	1.063	1320		1276	150	141.1												Valeur peu sûre	
KP3-97-09-287	23/09/97	20.00	1.063	1324		1280	130	122.3												Valeur peu sûre	
KP3-97-09-288	24/09/97	00.00	1.064	1328		1284	160	150.4												Valeur peu sûre	
KP3-97-09-289	24/09/97	04.00	1.064	1332		1288	180	169.2												Valeur peu sûre	
KP3-97-09-290	24/09/97	08.00	1.064	1336		1292	130	122.2		279.4			0.45							Valeur fluo reanalysée = 164	
KP3-97-09-291	24/09/97	12.00	1.064	1340		1296	160	150.3												Valeur peu sûre	
KP3-97-09-292	24/09/97	16.00	1.065	1344		1300	160	150.3												Valeur peu sûre	
KP3-97-09-293	24/09/97	20.00	1.065	1348		1304	102	95.8												Valeur peu sûre	
KP3-97-09-294	25/09/97	00.00	1.065	1352		1308	130	122.1												Valeur peu sûre	
KP3-97-09-295	25/09/97	04.00	1.065	1356		1312	132	124.0												Valeur peu sûre	
KP3-97-09-296	25/09/97	08.00	1.065	1360	-36.3	2.94E-05	1316	160	150.2	184.7		0.44	0.41	0.49						Valeur peu sûre	
KP3-97-09-297	25/09/97	12.00	1.065	1364		1320	132	124.0												Valeur peu sûre	
KP3-97-09-298	25/09/97	16.00	1.064	1368		1324	160	141.0												Valeur peu sûre	
KP3-97-09-299	25/09/97	20.00	1.064	1372		1328	120	112.8												Valeur peu sûre	
KP3-97-09-300	26/09/97	00.00	1.064	1376		1332	134	126.0												Valeur peu sûre	
KP3-97-09-301	26/09/97	04.00	1.063	1380		1336	97	91.2												Valeur peu sûre	
KP3-97-09-302	26/09/97	08.00	1.063	1384		1340	135	127.0		200.2			0.44							Valeur peu sûre	
KP3-97-09-303	26/09/97	12.00	1.063	1388		1344	170	160.0												Valeur peu sûre	
KP3-97-09-304	26/09/97	16.00	1.063	1392		1348	170	160.0												Valeur peu sûre	
KP3-97-09-305	26/09/97	20.00	1.062	1396		1352	151	142.1												Valeur peu sûre	
KP3-97-09-306	27/09/97	00.00	1.062	1400		1356	133	125.2		237.0										Valeur peu sûre	
KP3-97-09-307	27/09/97	04.00	1.062	1404		1360	102	96.0												Valeur peu sûre	
KP3-97-09-308	27/09/97	08.00	1.062	1408	-34.8	5.53E-05	1364	135	127.1	146.7		0.43	0.40	0.43						Valeur peu sûre	
KP3-97-09-309	27/09/97	12.00	1.062	1412		1368	125	117.7												Valeur peu sûre	
KP3-97-09-310	27/09/97	16.00	1.062	1416		1372	130	122.4												Valeur peu sûre	
KP3-97-09-311	27/09/97	20.00	1.063	1420		1376	181	170.3												Valeur peu sûre	
KP3-97-09-312	28/09/97	00.00	1.063	1424		1380	134	126.1												Valeur peu sûre	
KP3-97-09-313	28/09/97	04.00	1.063	1428		1384	144	135.5												Valeur peu sûre	
KP3-97-09-314	28/09/97	08.00	1.063	1432		1388	148	139.2		154.3			0.43							Valeur peu sûre	
KP3-97-09-315	28/09/97	12.00	1.063	1436		1392	142	133.6												Valeur peu sûre	
KP3-97-09-316	28/09/97	16.00	1.063	1440		1396	139	130.7												Valeur peu sûre	
KP3-97-09-317	28/09/97	20.00	1.063	1444		1400	151	142.1												Valeur peu sûre	
KP3-97-09-318	29/09/97	00.00	1.063	1448		1404	111	104.4												Valeur peu sûre	
KP3-97-09-319	29/09/97	04.00	1.063	1452		1408	121	113.8												Valeur peu sûre	
KP3-97-09-320	29/09/97	08.00	1.063	1456	-32.5	9.51E-05	1412	113	106.3	142.9		0.41	0.39	0.43						Valeur peu sûre	
KP3-97-09-321	29/09/97	12.00	1.063	1460		1416	83	78.1												Valeur peu sûre	
KP3-97-09-322	29/09/97	16.00	1.063	1464		1420	82	77.1												Valeur peu sûre	
KP3-97-09-323	29/09/97	20.00	1.063	1468		1424	157	147.7												Valeur peu sûre	
KP3-97-09-324	30/09/97	00.00	1.063	1472		1428	147	138.2												Valeur peu sûre	
KP3-97-09-325	30/09/97	04.00	1.063	1476		1432	165	155.2												Valeur peu sûre	
KP3-97-09-326	30/09/97	08.00	1.064	1480		1436	158	148.6		161.3			0.37							Valeur peu sûre	
KP3-97-09-327	30/09/97	12.00	1.064	1484		1440	111	104.4												Valeur peu sûre	
KP3-97-09-328	30/09/97	16.00	1.064	1488		1444	98	92.1												Valeur peu sûre	
KP3-97-09-329	30/09/97	20.00	1.064	1492		1448	110	103.4												Valeur peu sûre	
KP3-97-10-330	01/10/97	00.00	1.064	1496		1452	65	61.1												Valeur peu sûre	
KP3-97-10-331	01/10/97	04.00	1.064	1500		1456	120	112.8												Valeur peu sûre	
KP3-97-10-332	01/10/97	08.00	1.064	1504	-35.6	4.15E-05	1460	125	117.5	150.3		0.44	0.41	0.41						Valeur peu sûre	
KP3-97-10-333	01/10/97	12.00	1.064	1508		1464	103	96.9												Valeur peu sûre	
KP3-97-10-334	01/10/97	16.00	1.063	1512		1468	121	113.8												Valeur peu sûre	
KP3-97-10-335	01/10/97	20.00	1.063	1516		1472	143	134.5												Valeur peu sûre	
KP3-97-10-336	02/10/97	00.00	1.063	1520		1476	143	134.5												Valeur peu sûre	
KP3-97-10-337	02/10/97	04.00	1.063	1524		1480	130	122.3												Valeur peu sûre	
KP3-97-10-338	02/10/97	08.00	1.063	1528		1484	130	122.3												Valeur peu sûre	
KP3-97-10-339	02/10/97	12.00	1.063	1532		1488	102	95.9												Valeur peu sûre	
KP3-97-10-340	02/10/97	16.00	1.063	1536		1492	99	93.1												Valeur peu sûre	
KP3-97-10-341	02/10/97	20.00	1.063	1540		1496	134	126.1												Valeur peu sûre	
KP3-97-10-342	03/10/97	00.00	1.063	1544		1500	103	96.9												Valeur peu sûre	
KP3-97-10-343	03/10/97	04.00	1.063	1548		1504	133	125.1												Valeur peu sûre	
KP3-97-10-344	03/10/97	08.00	1.063	1552	-36.6	2.42E-05	1508	106	99.7			0.43	0.40							Valeur peu sûre	
KP3-97-10-345	03/10/97	12.00	1.063	1556		1512	113	106.3												Valeur peu sûre	
KP3-97-10-346	03/10/97	16.00	1.063	1560		1516	102	95.9												Valeur peu sûre	
KP3-97-10-347	03/10/97	20.00	1.063	1564		1520	129	121.3												Valeur peu sûre	

N° Echantillon	Date	Heure	h. cum D2O	Deuterium		h. cum fluor acide	j. cum fluor (EGI)	Fluorescéine sodique (urarine)						Acide benzoïque		h. cum rhod.	Rhodamine		h. cum amino	Acide amino-G		Remarques
				BRGM ‰	mol/kg			Mesure terrain µg/l	BRGM µg/kg	BRGM corrigé µg/l	BRGM corrigé µg/kg	EGI µg/l	EGI 2 µg/l	BRGM mg/l	BRGM mg/kg		EGI mg/l	BRGM µg/l		BRGM µg/kg	EGI µg/l	
KP3-97-10-348	04/10/97	00.00	1.064	1568		1524		145	136.3													
KP3-97-10-349	04/10/97	04.00	1.064	1572		1528		175	164.5													
KP3-97-10-350	04/10/97	08.00	1.064	1576		1532	64	178	167.3													
KP3-97-10-351	04/10/97	12.00	1.064	1580		1536		146	137.2													
KP3-97-10-352	04/10/97	16.00	1.064	1584		1540		142	133.5													
	04/10/97	20.00	1.064	1588		1544																
	05/10/97	00.00	1.064	1592		1548																
	05/10/97	04.00	1.064	1596		1552																
	05/10/97	08.00	1.064	1600		1556	65															
	05/10/97	12.00	1.064	1604		1560																
	05/10/97	16.00	1.064	1608		1564																
KP3-97-10-353	05/10/97	20.00	1.064	1612		1568		127	119.4													
KP3-97-10-354	06/10/97	00.00	1.064	1616		1572		154	144.8													
KP3-97-10-355	06/10/97	04.00	1.064	1620		1576		159	149.5													
KP3-97-10-356	06/10/97	08.00	1.064	1624	-37.3	1.21E-05	66	140	131.6				0.41	0.39								
stop 09.15	06/10/97	12.00	1.064	1628		1584																
restart 18.00	06/10/97	16.00	1.064	1632		1588																
KP3-97-10-357	06/10/97	20.00	1.064	1636		1592		120	112.8													
KP3-97-10-358	07/10/97	00.00	1.064	1640		1596		104	97.8													
KP3-97-10-359	07/10/97	04.00	1.064	1644		1600		111	104.4													
KP3-97-10-360	07/10/97	08.00	1.064	1648		1604	67	94	88.4				0.39	0.37								
	07/10/97	12.00	1.064	1652		1608																
	07/10/97	16.00	1.063	1656		1612																
KP3-97-10-361	07/10/97	20.00	1.063	1660		1616		164	154.2													
KP3-97-10-362	08/10/97	00.00	1.063	1664		1620		146	137.3													
KP3-97-10-363	08/10/97	04.00	1.063	1668		1624		94	88.4													
KP3-97-10-364	08/10/97	08.00	1.063	1672	-36.5	2.59E-05	68	93	87.5													
KP3-97-10-365	08/10/97	12.00	1.063	1676		1632		108	101.6													
	08/10/97	16.00	1.063	1680		1636																
KP3-97-10-366	08/10/97	20.00	1.063	1684		1640		149	140.1													
KP3-97-10-367	09/10/97	00.00	1.063	1688		1644		124	116.6													
KP3-97-10-368	09/10/97	04.00	1.063	1692		1648		117	110.0													
KP3-97-10-369	09/10/97	08.00	1.064	1696		1652	69	118	111.0		114.4		0.39	0.37	0.37			0				
KP3-97-10-370	09/10/97	12.00	1.064	1700		1656		88	82.7													
	09/10/97	16.00	1.064	1704		1660																
KP4-97-10-62	09/10/97	22.30	1.064	1708		1664		134	126.0	68	63.9	100	94.0			0						
KP4-97-10-63	10/10/97	00.00	1.064	1712		1668		122	114.7	61	57.3	93	87.4			4						
KP4-97-10-64	10/10/97	04.00	1.064	1716		1672		102	95.9	66	62.0	98	92.1			8						
KP4-97-10-65	10/10/97	08.30	1.064	1720	-37	1.73E-05	70	113	106.2	66	62.0	98	92.1			12						
KP4-97-10-66	10/10/97	12.15	1.064	1724		1680		85	79.9	65	61.1	97	91.2			16			3.88			
KP4-97-10-67	10/10/97	16.15	1.064	1728		1684		87	81.8	90	84.6	122	114.7			20						
KP4-97-10-68	10/10/97	20.00	1.064	1732		1688		84	79.0	67	63.0	99	93.1			24						
KP4-97-10-69	11/10/97	00.00	1.063	1736		1692		88	82.8	65	61.1	97	91.2			28						
KP4-97-10-70	11/10/97	04.00	1.063	1740		1696		74	69.6	64	60.2	96	90.3			32	0.5	0.47				
KP4-97-10-71	11/10/97	08.15	1.063	1744	-36.9	1.90E-05	71	115	108.2	63	59.3	95	89.4			36	0.5	0.47				
KP4-97-10-72	11/10/97	12.15	1.063	1748		1704		105	98.8	65	61.1	97	91.2			40	0.5	0.47	3.76			
KP4-97-10-73	11/10/97	16.15	1.063	1752		1708		83	78.1	68	64.0	100	94.0			44	0.5	0.47				
KP4-97-10-74	11/10/97	20.00	1.064	1756		1712		99	93.1	64	60.2	96	90.3			48	0.5	0.47				
KP4-97-10-75	12/10/97	00.00	1.064	1760		1716		103	96.8	63	59.2	95	89.3			52	0.5	0.47				
KP4-97-10-76	12/10/97	04.00	1.064	1764		1720		116	109.0	64	60.2	96	90.2			56	0.5	0.47				
KP4-97-10-77	12/10/97	08.15	1.064	1768	-35.9	3.63E-05	72	104	97.8	63	59.2	95	89.3			60	0.5	0.47				
KP4-97-10-78	12/10/97	12.15	1.064	1772		1728		84	79.0	62	58.3	94	88.4			64	0.5	0.47	3.08			
KP4-97-10-79	12/10/97	16.00	1.064	1776		1732		79	74.3	59	55.6	91	85.6			68	0.5	0.47				
KP4-97-10-80	12/10/97	20.00	1.063	1780		1736		104	97.8	60	56.4	92	86.5			72	0.5	0.47				
KP4-97-10-81	13/10/97	00.00	1.063	1784		1740		99	93.1	61	57.4	93	87.6			76	0.5	0.47				
KP4-97-10-82	13/10/97	04.00	1.063	1788		1744		97	91.3	58	54.6	90	84.7			80	0.5	0.47				
KP4-97-10-83	13/10/97	08.00	1.063	1792	-37.4	1.04E-05	73	84	79.0	58	54.6	90	84.7			84	0.8	0.753				
KP4-97-10-84	13/10/97	12.15	1.063	1796		1752		112	105.4	61	57.4	93	87.5			88	0.9	0.847	3.68			
KP4-97-10-85	13/10/97	16.00	1.063	1800		1756		82	77.1	60	56.4	92	86.5			92	1.2	1.129				
KP4-97-10-86	13/10/97	20.00	1.063	1804		1760		92	86.5	62	58.3	94	88.4			96	1.6	1.505				
KP4-97-10-87	14/10/97	00.00	1.063	1808		1764		123	115.7	61	57.4	93	87.5			100	2	1.881				
KP4-97-10-88	14/10/97	04.00	1.064	1812		1768		80	75.2	64	60.2	96	90.3			104	2.4	2.257				
KP4-97-10-89	14/10/97	08.00	1.064	1816	-36.5	2.59E-05	74	77	72.4	59	55.6	91	85.6			108	3	2.821				
														0.33		112	3.6	3.384	6.04			

Différence entre les valeurs de terrain et les valeurs BRGM = 32 ppb
(voir graphique à la fin du fichier)
Les valeurs de fluo corrigées sont calculées à partir des valeurs du labo BRGM + 32 p

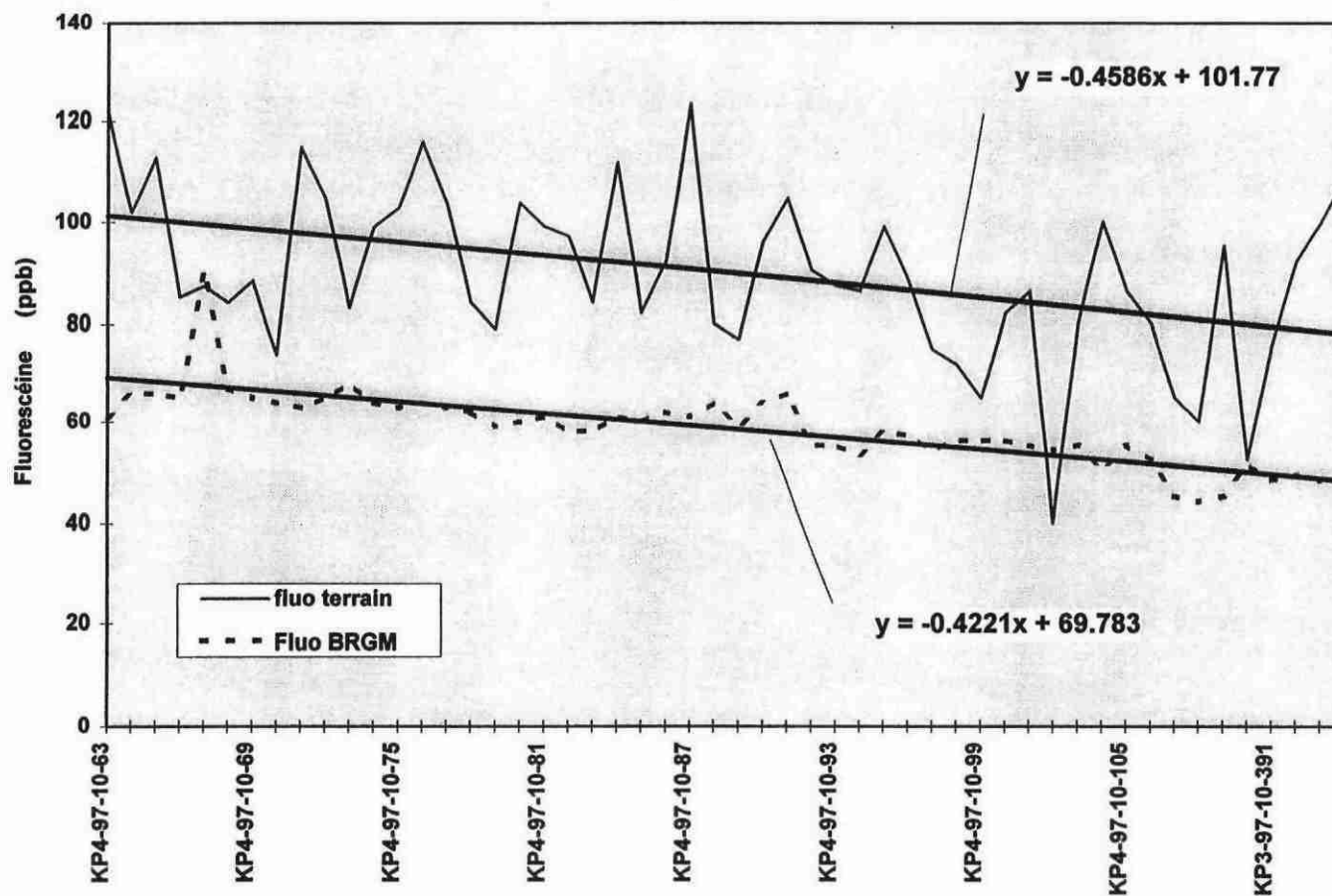
N° Echantillon	Date	Heure	h. cum D2O	Deuterium		h. cum fluor (EG1)	Fluorescéine sodique (urarine)					Acide benzoïque			h. cum rhod.	Rhodamine		h. cum amino	Acide amino-G		Remarques	
				BRGM ‰	mol/kg		Mesure terrain µg/l	BRGM µg/kg	BRGM corrigé µg/l	EG1 µg/l	EG1 2 µg/l	BRGM mg/l	EG1 mg/kg	BRGM µg/l		EG1 µg/kg	BRGM µg/l		EG1 µg/kg			
KP4-97-10-90	14/10/97	12.00	1.064	1820			96	90.3	84	60.2	96	90.3			116	4.4	4.137					
KP4-97-10-91	14/10/97	16.00	1.064	1824			105	98.7	68	62.0	98	92.1			120	4.6	4.324					
KP4-97-10-92	14/10/97	20.00	1.064	1828			90	84.6	55	51.7	87	81.8			124	4.50	4.227					
KP4-97-10-93	15/10/97	00.00	1.064	1832			87	81.8	55	51.7	87	81.8			128	4.55	4.281					
KP4-97-10-94	15/10/97	04.00	1.064	1836			86	80.8	53	49.8	85	79.9			132	5.40	5.077					
KP4-97-10-95	15/10/97	08.00	1.064	1840			99	93.0	58	54.5	90	84.6	108.8	0.36	0.34	0.34	136	6.83	6.421	11.16		
KP4-97-10-96	15/10/97	12.00	1.065	1844			88	82.7	57	53.5	89	83.6			140	6.61	6.211					
KP4-97-10-97	15/10/97	16.00	1.066	1848			75	70.4	54	50.7	86	80.7			144	7.65	7.179					
KP4-97-10-98	15/10/97	20.00	1.066	1852			72	67.5	56	52.5	88	82.5			148	6.34	5.942					
KP4-97-10-99	16/10/97	00.00	1.067	1856			65	60.9	56	52.5	88	82.5			152	4.29	4.022					
KP4-97-10-100	16/10/97	04.00	1.068	1860			82	76.8	56	52.4	88	82.4			156	7.42	6.945					
KP4-97-10-101	16/10/97	08.00	1.069	1864			86	80.5	55	51.5	87	81.4	92.64		160	9.05	8.469	8				
KP4-97-10-102	16/10/97	12.00	1.068	1868			40	37.4	54	50.6	86	80.6			164	6.47	6.055					
KP4-97-10-103	16/10/97	16.00	1.068	1872			80	74.9	55	51.5	87	81.5			168	5.84	5.47					
KP4-97-10-104	16/10/97	20.00	1.067	1876			100	93.7	50	46.9	82	76.9			172	10.95	10.26					
KP4-97-10-105	17/10/97	00.00	1.066	1880			86	80.7	55	51.6	87	81.6			176	10.42	9.775					
KP4-97-10-106	17/10/97	04.00	1.066	1884			80	75.1	52	48.8	84	78.8			180	10.57	9.919					
KP4-97-10-107	17/10/97	08.00	1.065	1888	-36.1	3.28E-05	65	61.0	45	42.3	77	72.3	97.68	0.32	0.30	0.33	184	5.85	5.497	4.4	Correspondance pour les prélèvements effectués en doublon au point KP4 :	
KP4-97-10-108	17/10/97	12.00	1.065	1892			60	56.3	44	41.3	76	71.4			188	11.97	11.24					
KP4-97-10-109	17/10/97	16.00	1.065	1896			95	89.2	45	42.3	77	72.3			192	12.18	11.43					
KP3-97-10-390	17/10/97	20.00	1.065	1900			52	48.8	51	47.9	83	77.9			196	11.83	11.11				Kp4-97-10-110	
KP3-97-10-391	18/10/97	00.00	1.065	1904			76	71.4	48	45.1	80	75.1			200	9.32	8.75				Kp4-97-10-111	
KP3-97-10-392	18/10/97	04.00	1.065	1908			92	86.4	49	46.0	81	76.1			204	9.47	8.897				Kp4-97-10-112	
KP3-97-10-393	18/10/97	08.00	1.065	1912			100	93.9	48	45.1	80	76.1	119		208	6.02	5.657	5.48			Kp4-97-10-113	
KP3-97-10-394	18/10/97	12.00	1.065	1916			110	103.3	47	44.1	79	74.2			212	5.76	5.407				Kp4-97-10-114	
KP3-97-10-395	18/10/97	16.00	1.065	1920			95	89.2	38	35.7	70	65.7			216	13.57	12.74				Kp4-97-10-115	
KP3-97-10-396	18/10/97	20.00	1.065	1924			120	112.7	50	47.0	82	77.0			220	10.07	9.459				Kp4-97-10-116	
KP3-97-10-397	19/10/97	00.00	1.065	1928			91	85.5	47	44.1	79	74.2			224	9.07	8.517				Kp4-97-10-117 Valeur peu s	
KP3-97-10-398	19/10/97	04.00	1.065	1932			145	136.2	46	43.2	78	73.3			228	12.08	11.35				Kp4-97-10-118 Valeur peu s	
KP3-97-10-399	19/10/97	08.00	1.065	1936			148	139.0							232						Kp4-97-10-119 Valeur peu s	
KP3-97-10-400	19/10/97	12.00	1.065	1940			140	131.5	51	47.9	83	78.0			236	13.43	12.61				Kp4-97-10-120 Valeur peu s	
KP3-97-10-401	19/10/97	16.00	1.065	1944			240	141.3	76	71.4					240	14.13	13.28				Kp4-97-10-121	
KP3-97-10-402	19/10/97	20.00	1.064	1948			47	44.2	79	74.2					244	10.05	9.447				Kp4-97-10-122	
KP3-97-10-403	20/10/97	00.00	1.064	1952			45	42.3	77	72.3					248	12.75	11.98				Kp4-97-10-123	
KP3-97-10-404	20/10/97	04.00	1.064	1956			46	43.2	78	73.3					252	13.21	12.41				Kp4-97-10-124	
KP3-97-10-405	20/10/97	08.00	1.064	1960	-35.4	4.50E-05	47	44.2	79	74.2	92.48	0.27	0.25	0.33	256	7.94	7.458	7.92			Kp4-97-10-125	
KP3-97-10-406	20/10/97	12.00	1.065	1964			45	42.3	77	72.3					260	8.74	8.206				Kp4-97-10-126	
KP3-97-10-407	20/10/97	16.00	1.065	1968			50	46.9	82	77.0					264	10.84	10.18				Kp4-97-10-127	
KP3-97-10-408	20/10/97	20.00	1.066	1972			46	43.2	78	73.2					268	9.36	8.789				Kp4-97-10-128	
KP3-97-10-409	21/10/97	00.00	1.066	1976			48	45.0	80	75.1					272	10.78	10.11				Kp4-97-10-129	
KP3-97-10-410	21/10/97	04.00	1.066	1980			48	45.0	80	75.0					276	9.73	9.121				Kp4-97-10-130	
KP3-97-10-411	21/10/97	08.00	1.067	1984	-35.4	4.50E-05	46	43.1	78	73.1	97.68	202.3	0.31	0.29	0.33	280	6.01	5.632	7.48			Kp4-97-10-131
KP3-97-10-412	21/10/97	12.00	1.066	1988			45	42.2	77	72.2					284	5.80	5.445				Kp4-97-10-132	
KP3-97-10-413	21/10/97	16.00	1.065	1992											288						Kp4-97-10-133	
KP3-97-10-414	21/10/97	20.00	1.064	1996			41	38.5	73	68.6					292	14.16	13.31				Kp4-97-10-134	
KP3-97-10-415	22/10/97	00.00	1.064	2000			38	35.7	70	65.8					296	8.60	8.083				Kp4-97-10-135	
KP3-97-10-416	22/10/97	04.00	1.063	2004			45	42.3	77	72.5					300	7.92	7.454				Kp4-97-10-136	
KP3-97-10-417	22/10/97	08.00	1.062	2008			46	43.3	78	73.5	144.2			0.32	304	18.45	17.37	26.64			Kp4-97-10-137	
KP3-97-10-418	22/10/97	12.00	1.062	2012											308						Kp4-97-10-138	
KP3-97-10-419	22/10/97	16.00	1.063	2016			47	44.2	79	74.3					312	11.50	10.82				Kp4-97-10-139	
KP3-97-10-420	22/10/97	20.00	1.063	2020			41	38.6	73	68.7					316	10.20	9.59				Kp4-97-10-140	
KP3-97-10-421	23/10/97	00.00	1.064	2024			35	32.9	67	63.0					320	8.19	7.699					
KP3-97-10-422	23/10/97	04.00	1.064	2028			39	36.7	71	66.7					324	8.47	7.961					
KP3-97-10-423	23/10/97	08.00	1.064	2032	-35.4	4.50E-05	39	36.6	71	66.7	125.8	0.3	0.28	0.32	328	9.55	8.975	21.48				
KP3-97-10-424	23/10/97	12.00	1.064	2036			34	31.9	66	62.0					332	6.7	6.296					
KP3-97-10-425	23/10/97	16.00	1.064	2040			32	30.1	64	60.1					336	14.6	13.72				0	
KP3-97-10-426	23/10/97	20.00	1.064	2044			31	29.1	63	59.2					340	8.3	7.801				4	
KP3-97-10-427	24/10/97	00.00	1.064	2048			29	27.3	61	57.3												

N° Echantillon	Date	Heure	h. cum D2O	Deuterium		h. cum fluor acide	j. cum fluor (EGI)	Fluorescéine sodique (urarine)					Acide benzoïque		h. cum rhod.	Rhodamine		h. cum amino	Acide amino-G		Remarques				
				BRGM ‰	mol/kg			Mesure terrain µg/l	BRGM µg/kg	BRGM corrigé µg/kg	EGI µg/l	EGI 2 µg/l	BRGM mg/l	EGI mg/kg		BRGM µg/l	EGI µg/l		BRGM µg/l	EGI µg/l		BRGM µg/l	EGI µg/l		
KP3-97-10-433	25/10/97	00:00	1.064	2072		2028		45	42.3	77	72.4			368	10.1	9.496	32								
KP3-97-10-434	25/10/97	04:00	1.064	2076		2032		44	41.4	76	71.5			372	9.1	8.556	36								
KP3-97-10-435	25/10/97	08:00	1.064	2080	-35.7	3.98E-05	85		44	41.4	76	71.5	123.9	0.3	0.28	0.3	376	5.8	5.453	17.08	40	0	0	0	
KP3-97-10-436	25/10/97	12:00	1.064	2084		2040		45	42.3	77	72.4			380	7.1	6.675	44	0	0						
KP3-97-10-437	25/10/97	16:00	1.064	2088		2044		44	41.4	76	71.5			384	5.8	5.453	48	0	0						
KP3-97-10-438	25/10/97	20:00	1.064	2092		2048		49	46.1	81	76.2			388	14.9	14.01	52	0	0						
KP3-97-10-439	26/10/97	01:00	1.064	2096		2052		45	42.3	77	72.4			392	9.2	8.65	56	0	0						
KP3-97-10-440	26/10/97	05:00	1.064	2100		2056		45	42.3	77	72.4			396	9.3	8.745	60	0	0						
KP3-97-10-441	26/10/97	09:00	1.064	2104		2060	86	43	40.4	75	70.5	120.5		400	6.6	6.206	15.08	64	0	0	0	Passage de l'heure d'été à l'heure d'hiver			
KP3-97-10-442	26/10/97	13:00	1.064	2108		2064		44	41.4	76	71.5			404	6.7	6.3	68	0	0						
KP3-97-10-443	26/10/97	17:00	1.064	2112		2068		45	42.3	77	72.4			408	6.7	6.3	72	0	0						
KP3-97-10-444	26/10/97	21:00	1.064	2116		2072		43	40.4	75	70.5			412	6.2	5.83	76	0	0						
KP3-97-10-445	27/10/97	01:00	1.063	2120		2076		44	41.4	76	71.5			416	8.7	8.181	80	0	0						
KP3-97-10-446	27/10/97	05:00	1.063	2124		2080		44	41.4	76	71.5			420	7.2	6.771	84	0	0						
KP3-97-10-447	27/10/97	09:00	1.063	2128	-35	5.19E-05	87	45	42.3	77	72.4	125.8		0.29	0.27	0.29	424	10.2	9.592	19.24	88	0	0	2.35	
KP3-97-10-448	27/10/97	13:00	1.063	2132		2088		36	33.9	68	63.9			428	5.3	4.984	92	0	0						
KP3-97-10-449	27/10/97	17:00	1.063	2136		2092		42	39.5	74	69.6			432	5.9	5.548	96	0	0						
KP3-97-10-450	27/10/97	21:00	1.063	2140		2096		31	29.2	63	59.2			436	3.9	3.667	100	0	0						
KP3-97-10-451	28/10/97	01:00	1.063	2144		2100		38	35.7	70	65.8			440	10.2	9.592	104	0	0						
KP3-97-10-452	28/10/97	05:00	1.063	2148		2104		32	30.1	64	60.2			444	5.1	4.796	108	0	0						
KP3-97-10-453	28/10/97	09:00	1.064	2152		2108	88	41	38.6	73	68.6	141.4		448	14.3	13.45	22.6	112	0	0	0				
KP3-97-10-454	28/10/97	13:00	1.063	2156		2112		44	41.4	76	71.5			452	6.1	5.736	116	0	0						
KP3-97-10-455	28/10/97	17:00	1.063	2160		2116		41	38.6	73	68.7			456	6.4	6.019	120	22	20.69						
KP3-97-10-456	28/10/97	21:00	1.063	2164		2120		37	34.8	69	64.9			460	8.4	7.901	124	22	20.69						
KP3-97-10-457	29/10/97	01:00	1.063	2168		2124		44	41.4	76	71.5			464	7.1	6.679	128	22.6	21.26						
KP3-97-10-458	29/10/97	05:00	1.063	2172		2128		34	32.0	66	62.1			468	9.7	9.124	132	25.4	23.89						
KP3-97-10-459	29/10/97	09:00	1.063	2176	-34.8	5.53E-05	89	40	37.6	72	67.7	114.4	0.3	0.28	0.3	472	6.3	5.927	18.2	136	27.2	25.59	7.04		
KP3-97-10-460	29/10/97	13:00	1.063	2180		2136		42	39.5	74	69.6			476	5.1	4.798	140	25.1	23.61						
KP3-97-10-461	29/10/97	17:00	1.063	2184		2140		40	37.6	72	67.7			480	5.5	5.174	144	26	24.46						
KP3-97-10-462	29/10/97	21:00	1.063	2188		2144		41	38.6	73	68.7			484	4.8	4.515	148	31.9	30						
KP3-97-10-463	30/10/97	01:00	1.063	2192		2148		41	38.6	73	68.7			488	4.7	4.421	152								
KP3-97-10-464	30/10/97	05:00	1.063	2196		2152		41	38.6	73	68.7			492	5.6	5.267	156	34.6	32.54						
KP3-97-10-465	30/10/97	09:00	1.063	2200		2156	90	43	40.4	75	70.5		0.29	496	12.1	11.38	160	34.6	32.54	13.67					
KP3-97-10-466	30/10/97	13:00	1.063	2204		2160		41	38.6	73	68.7			500	8	7.524	164	30.3	28.5						
KP3-97-10-467	30/10/97	17:00	1.063	2208		2164		42	39.5	74	69.6			504	6.7	6.302	168	31.8	29.91						
KP3-97-10-468	30/10/97	21:00	1.063	2212		2168		41	38.6	73	68.7			508	5.5	5.173	172								
KP3-97-10-469	31/10/97	01:00	1.063	2216		2172		40	37.6	72	67.7			512	5.4	5.079	176								
(KP3-471 = 14.15) (KP3-472 = 15.00)	31/10/97	05:00	1.063	2220	-36.4	2.77E-05	91						0.28	0.26	0.29	516									
KP3-97-10-473	31/10/97	09:00	1.063	2224		2180		46	43.3	78	73.4			520	6.8	6.396	184	41.9	39.41	38.93					
KP3-97-10-474	31/10/97	13:00	1.063	2228		2184		44	41.4	76	71.5			524	7	6.585	188	31.6	29.72						
KP3-97-10-475	31/10/97	17:00	1.063	2232		2188		44	41.4	76	71.5			528	6	5.644	192	39.9	37.54						
KP3-97-10-476	31/10/97	21:00	1.063	2236		2192		45	42.3	77	72.4			532	8.3	7.808	196	34.1	32.08						
KP3-97-11-477	01/11/97	01:00	1.063	2240		2196		35	32.9	67	63.0			536	4.6	4.327	200	30.3	28.5						
KP3-97-11-478	01/11/97	05:00	1.063	2244		2200		38	35.7	70	65.9			540	5.2	4.892	204	29.1	27.38						
KP3-97-11-479	01/11/97	09:00	1.063	2248		2204	92	42	39.5	74	69.6		0.28	544	5.4	5.08	208	37.6	35.37	13.4					
KP3-97-11-480	01/11/97	13:00	1.063	2252		2208		39	36.7	71	66.8			548	5.2	4.89	212	36.3	34.14						
KP3-97-11-481	01/11/97	17:00	1.064	2256		2212		35	32.9	67	63.0			552	4.8	4.513	216	35.2	33.09						
KP3-97-11-482	01/11/97	21:00	1.064	2260		2216		41	38.5	73	68.6			556	5.1	4.793	220	39.8	37.41						
KP3-97-11-483	02/11/97	01:00	1.064	2264		2220		35	32.9	67	62.9			560	4.3	4.04	224	34.5	32.41						
KP3-97-11-484	02/11/97	05:00	1.065	2268		2224		41	38.5	73	68.6			564	5.6	5.26	228	25.2	23.67						
KP3-97-11-485	02/11/97	09:00	1.065	2272	-36.5	2.59E-05	93	35	32.9	67	62.9		0.29	0.27	0.28	568	5.1	4.788	232	24.1	22.63	43.32			
KP3-97-11-486	02/11/97	13:00	1.065	2276		2232								572			236	23.9	22.44						
KP3-97-11-487	02/11/97	17:00	1.065	2280		2236		40	37.6	72	67.6			576	4.9	4.602	240	26.8	27.05						
KP3-97-11-488	02/11/97	21:00	1.065	2284		2240		36	33.8	68	63.9			580	11	10.33	244								

N° Echantillon	Date	Heure	h. cum	D2O	Deuterium		h. cum	J. cum	Fluorescéine sodique (urarine)						Acide benzoïque			h. cum	Rhodamine			h. cum	Acide amino-G			Remarques	
					BRGM ‰	mol/kg			fluor acide	Mesure terrain µg/l	BRGM µg/kg	BRGM corrigé µg/l	EG1 µg/l	EG1 2 µg/l	BRGM mg/l	EG1 mg/kg	EG1 mg/l		rhod.	BRGM µg/l	EG1 µg/g		EG1 µg/l	amino	BRGM µg/l		EG1 µg/kg
KP3-97-11-496	04/11/97	13:00	1.065	2324			2280			41	38.5	73	68.6					620	9.1	8.542		284	70.1	65.8			
KP3-97-11-497	04/11/97	17:00	1.065	2328			2284			42	39.4	74	69.5					624	9.3	8.733		288	78.3	73.53			
KP3-97-11-498	04/11/97	21:00	1.065	2332			2288			38	35.7	70	65.8					628	9.8	9.206		292	78.9	74.12			
KP3-97-11-499	05/11/97	01:00	1.064	2336			2292			38	35.7	70	65.8					632	6.8	6.39		296	77	72.36			
KP3-97-11-500	05/11/97	05:00	1.064	2340			2296			38	35.7	70	65.8					636	8.7	8.179		300	82.4	77.47			
KP3-97-11-501	05/11/97	09:00	1.063	2344			2300	96		40	37.6	72	67.7				0.27	640	9.1	8.558		304	79.8	75.05			
KP3-97-11-502	05/11/97	13:00	1.063	2348			2304			40	37.6	72	67.7					644	8	7.524		308	76	71.48			
KP3-97-11-503	05/11/97	17:00	1.063	2352			2308			38	35.7	70	65.8					648	7.9	7.43		312	77.9	73.26			
KP3-97-11-504	05/11/97	21:00	1.063	2356			2312			39	36.7	71	66.8					652	9.3	8.746		316	74.8	70.35			
KP3-97-11-505	06/11/97	01:00	1.063	2360			2316			40	37.6	72	67.7					656	9.4	8.84		320	78.7	74.01			
KP3-97-11-506	06/11/97	05:00	1.063	2364			2320			41	38.6	73	68.6					660	6.9	6.489		324	77.8	73.16			
KP3-97-11-507	06/11/97	09:00	1.063	2368	-36.6	2.42E-05	2324	97		42	39.5	74	69.6	97.36		0.28	0.26	664	7	6.583	7.48	328	72.5	68.18	53.05		
KP3-97-11-508	06/11/97	13:00	1.064	2372			2328			44	41.4	76	71.5					668	8.2	7.71		332	75.9	71.37			
KP3-97-11-509	06/11/97	17:00	1.064	2376			2332			45	42.3	77	72.4					672	8.4	7.898		336	77.1	72.49			
KP3-97-11-510	06/11/97	21:00	1.064	2380			2336			40	37.6	72	67.7					676	8.5	7.991		340	79.4	74.65			
KP3-97-11-511	07/11/97	01:00	1.064	2384			2340			39	36.7	71	66.7					680	8.8	8.272		344	73.9	69.47			
KP3-97-11-512	07/11/97	05:00	1.064	2388			2344			40	37.6	72	67.7					684	7.5	7.05		348	77.6	72.94			
KP3-97-11-513	07/11/97	09:00	1.064	2392			2348	98		43	40.4	75	70.5	91.28			0.25	688	9	8.459	18.08	352	76	71.43	60.44		
KP3-97-11-514	07/11/97	13:00	1.064	2396			2352			43	40.4	75	70.5					692	10.6	9.963		356	83.8	78.77			
KP3-97-11-515	07/11/97	17:00	1.064	2400			2356			42	39.5	74	69.6					696	10.2	9.587		360	82	77.07			
KP3-97-11-516	07/11/97	21:00	1.064	2404			2360			41	38.5	73	68.6					700	9.2	8.648		364	77.8	73.13			
KP3-97-11-517	08/11/97	01:00	1.064	2408			2364			40	37.6	72	67.7					704	8.1	7.614		368	79	74.26			
KP3-97-11-518	08/11/97	05:00	1.064	2412			2368			40	37.6	72	67.7					708	7.3	6.862		372	80.8	75.95			
KP3-97-11-519	08/11/97	09:00	1.064	2416	-35.6	4.15E-05	2372	99		41	38.5	73	68.6	74.96		0.25	0.24	0.26	712	7.7	7.239	7.08	376	80.3	75.49	39.64	
KP3-97-11-520	08/11/97	13:00	1.064	2420			2376			41	38.5	73	68.6					716	4.8	4.513		380	89.6	84.23			
KP3-97-11-521	08/11/97	17:00	1.064	2424			2380			40	37.6	72	67.7					720	5	4.701		384	85.2	80.1			
KP3-97-11-522	08/11/97	21:00	1.064	2428			2384			39	36.7	71	66.8					724	6	5.641		388	86.5	81.33			
KP3-97-11-523	09/11/97	01:00	1.064	2432			2388			38	35.7	70	65.8					728	4.6	4.325		392	77.6	72.96			
KP3-97-11-524	09/11/97	05:00	1.064	2436			2392			38	35.7	70	65.8					732	3.9	3.667		396	84.4	79.35			
KP3-97-11-525	09/11/97	09:00	1.064	2440			2396	100		41	38.5	73	68.6	92.84			0.26	736	9.2	8.65	13.8	400	78.8	74.09			
KP3-97-11-526	09/11/97	13:00	1.064	2444			2400			39	36.7	71	66.8					740	5.7	5.36		404	81.7	76.82			
KP3-97-11-527	09/11/97	17:00	1.064	2448			2404			40	37.6	72	67.7					744	5.2	4.89		408	84.3	79.27			
KP3-97-11-528	09/11/97	21:00	1.064	2452			2408			39	36.7	71	66.8					748	3.3	3.103		412	80.4	75.6			
KP3-97-11-529	10/11/97	01:00	1.064	2456			2412			38	35.7	70	65.8					752	3	2.821		416	80.5	75.69			
KP3-97-11-530	10/11/97	05:00	1.063	2460			2416			40	37.6	72	67.7					756	4.1	3.858		420	75.5	71			
KP3-97-11-531	10/11/97	09:00	1.063	2464	-33.6	7.61E-05	2420	101		39	36.7	71	66.8	101.9		0.26	0.24	0.26	760	4	3.762	11.44	424	80.8	75.98	77.21	
KP3-97-11-532	10/11/97	13:00	1.064	2468			2424			40	37.6	72	67.7					764	4	3.761		428	75.2	70.7			
KP3-97-11-533	10/11/97	17:00	1.064	2472			2428			41	38.5	73	68.6					768	5.2	4.889		432	72	67.69			
KP3-97-11-534	10/11/97	21:00	1.064	2476			2432			41	38.5	73	68.6					772	5.1	4.794		436	77.6	72.95			
KP3-97-11-535	11/11/97	01:00	1.064	2480			2436			40	37.6	72	67.7					776	6	5.64		440	76.2	71.62			
KP3-97-11-536	11/11/97	05:00	1.064	2484			2440			41	38.5	73	68.6					780	10.2	9.586		444	70.4	66.16			
KP3-97-11-537	11/11/97	09:00	1.064	2488			2444	102		39	36.6	71	66.7	103.7	179.7		0.26	784	11	10.34	16.96	448	73.8	69.35	82.17		
KP3-97-11-538	11/11/97	13:00	1.064	2492			2448			39	36.7	71	66.7					788	9.3	8.741		452	74	69.55			
KP3-97-11-539	11/11/97	17:00	1.064	2496			2452			70	65.8	102	95.9					792	8.8	8.271		456	68.9	64.76			
KP3-97-11-540	11/11/97	21:00	1.064	2500			2456			40	37.6	72	67.7					796	4.1	3.854		460	66.6	62.61			
KP3-97-11-541	12/11/97	01:00	1.064	2504			2460			39	36.7	71	66.8					800	4.2	3.949		464	66.2	62.24			
KP3-97-11-542	12/11/97	05:00	1.063	2508			2464			38	35.7	70	65.8					804	5	4.702		468</					

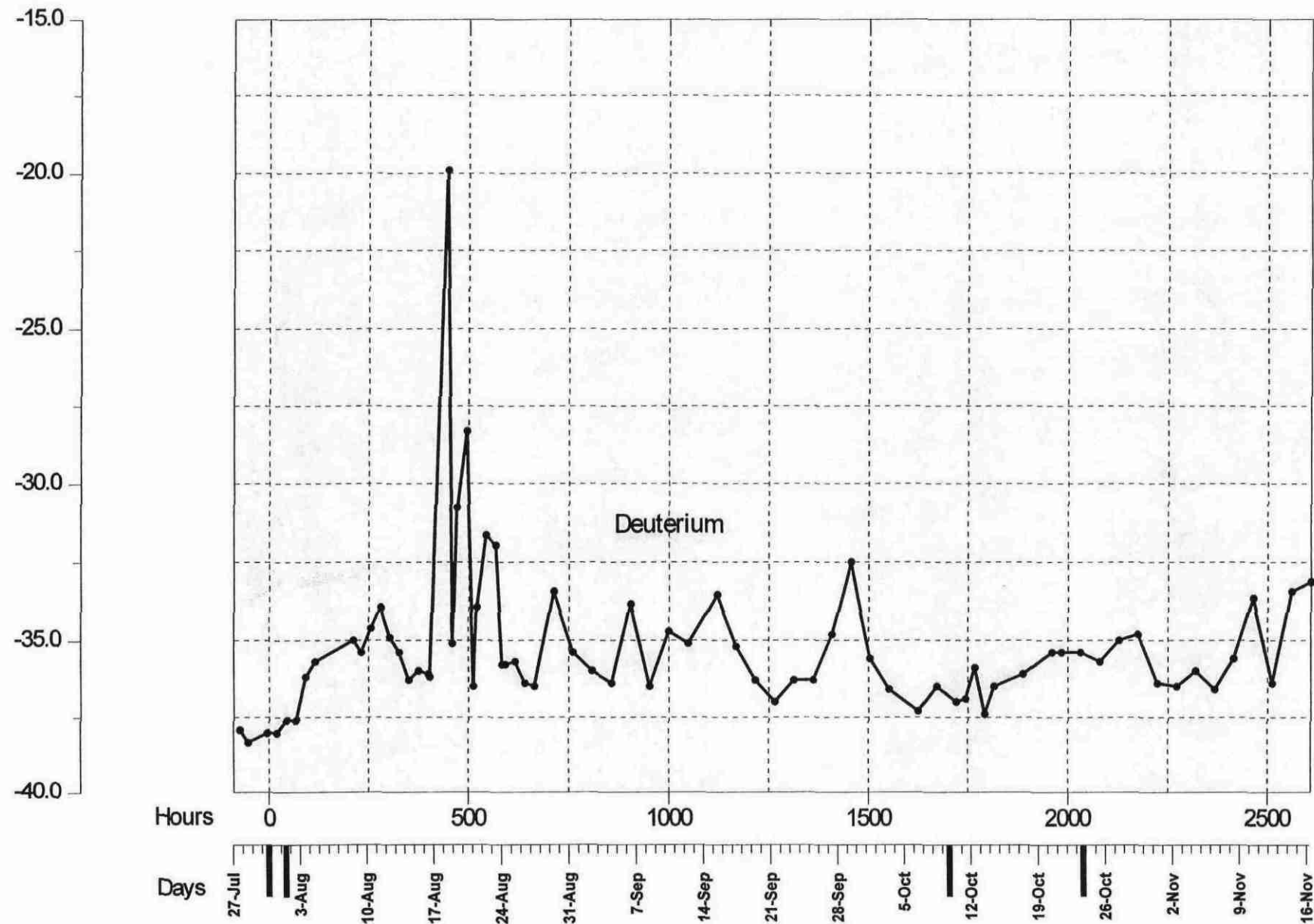
N° Echantillon	Date	Heure	h. cum D2O	Deuterium		h. cum fluor acide	J. cum fluor (EGI)	Fluorescéine sodique (uranine)						Acide benzoïque			h. cum rhod.	Rhodamine			h. cum amino	Acide amino-G			Remarques		
				BRGM ‰	mol/kg			Mesure terrain		BRGM		BRGM corrigé		EGI µg/l	EGI 2 µg/l	BRGM		EGI mg/l	BRGM µg/l	EGI µg/kg		EGI µg/l	BRGM µg/l	EGI µg/kg		EGI µg/l	
								µg/l	µg/kg	µg/l	µg/kg	µg/l	µg/kg			mg/l											mg/kg
KP3-97-11-559	15/11/97	01:00	1.064	2576		2532			38	35.7	70	65.8				872	6.3	5.919		535	53.7	50.45					
KP3-97-11-560	15/11/97	05:00	1.065	2580		2536			24	22.5	56	52.6				876	8.3	7.797		540	52.2	49.04					
KP3-97-11-561	15/11/97	09:00	1.065	2584		2540	106		20	18.8	52	48.8		103.6		880	4.5	4.227	10.96	544	46.8	43.96	57.64				
KP3-97-11-562	15/11/97	13:00	1.065	2588		2544			21	19.7	53	49.8				884	5.7	5.355		548	53.8	50.54					
KP3-97-11-563	15/11/97	17:00	1.064	2592		2548			23	21.6	55	51.7				888	4.8	4.51		552	48.4	45.47					
KP3-97-11-564	15/11/97	21:00	1.064	2596		2552			23	21.6	55	51.7				892	4.1	3.852		556	47.4	44.54					
KP3-97-11-565	16/11/97	01:00	1.064	2600		2556			22	20.7	54	50.7				896	5.3	4.98		560	43.9	41.25					
KP3-97-11-566	16/11/97	05:00	1.064	2604		2560			17	16.0	49	46.0				900	7.6	7.142		564	46	43.22					
KP3-97-11-567	16/11/97	09:00	1.064	2608	-33.1	8.47E-05	2564	107	20	18.8	52	48.9	106.2	0.23	0.22	0.24	904	7.5	7.048		568	44.1	41.44	60.29			

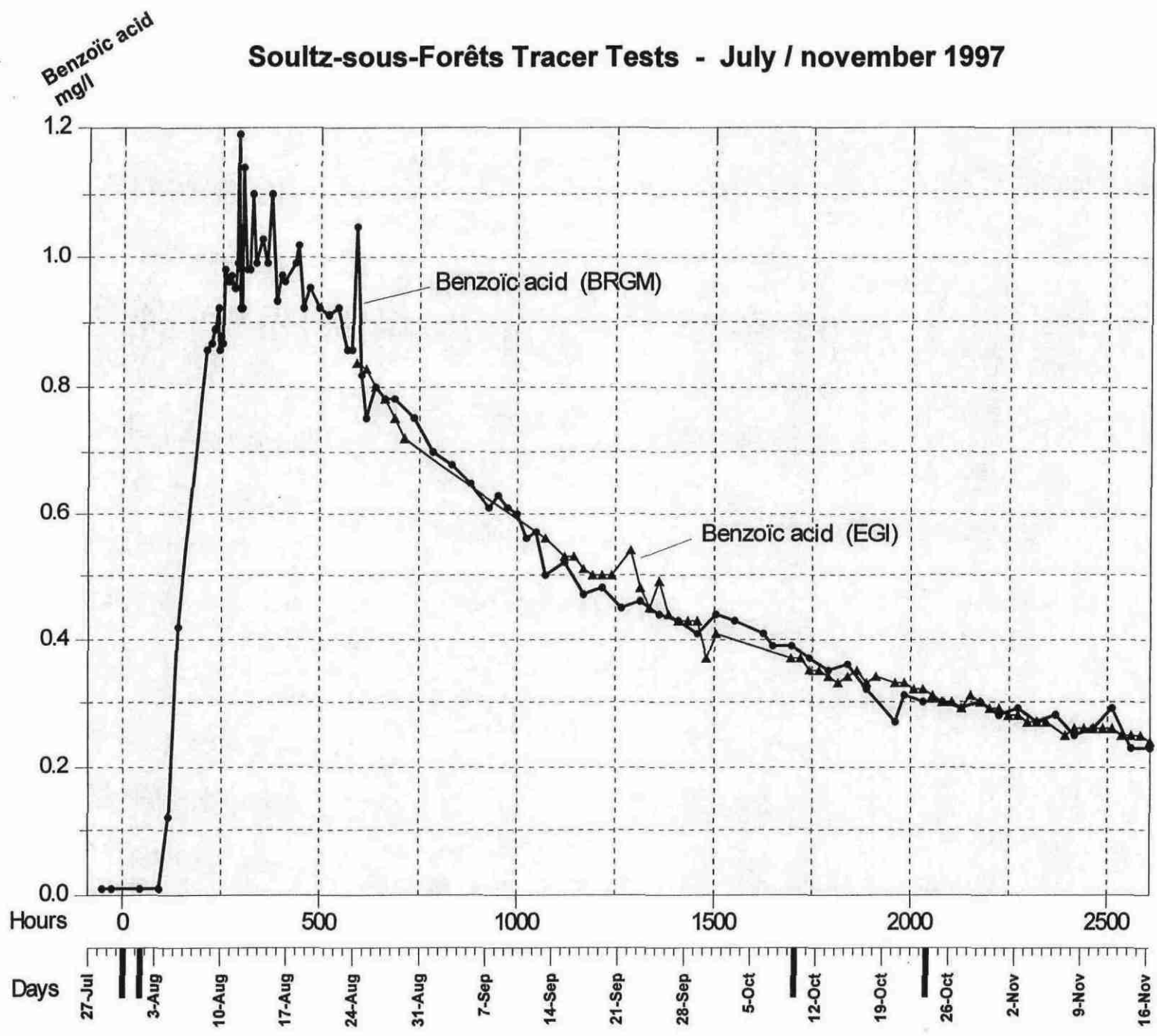
Ecart systématique entre les analyses de fluorescéine sur le terrain et les analyses au laboratoire du BRGM



Deuterium
‰

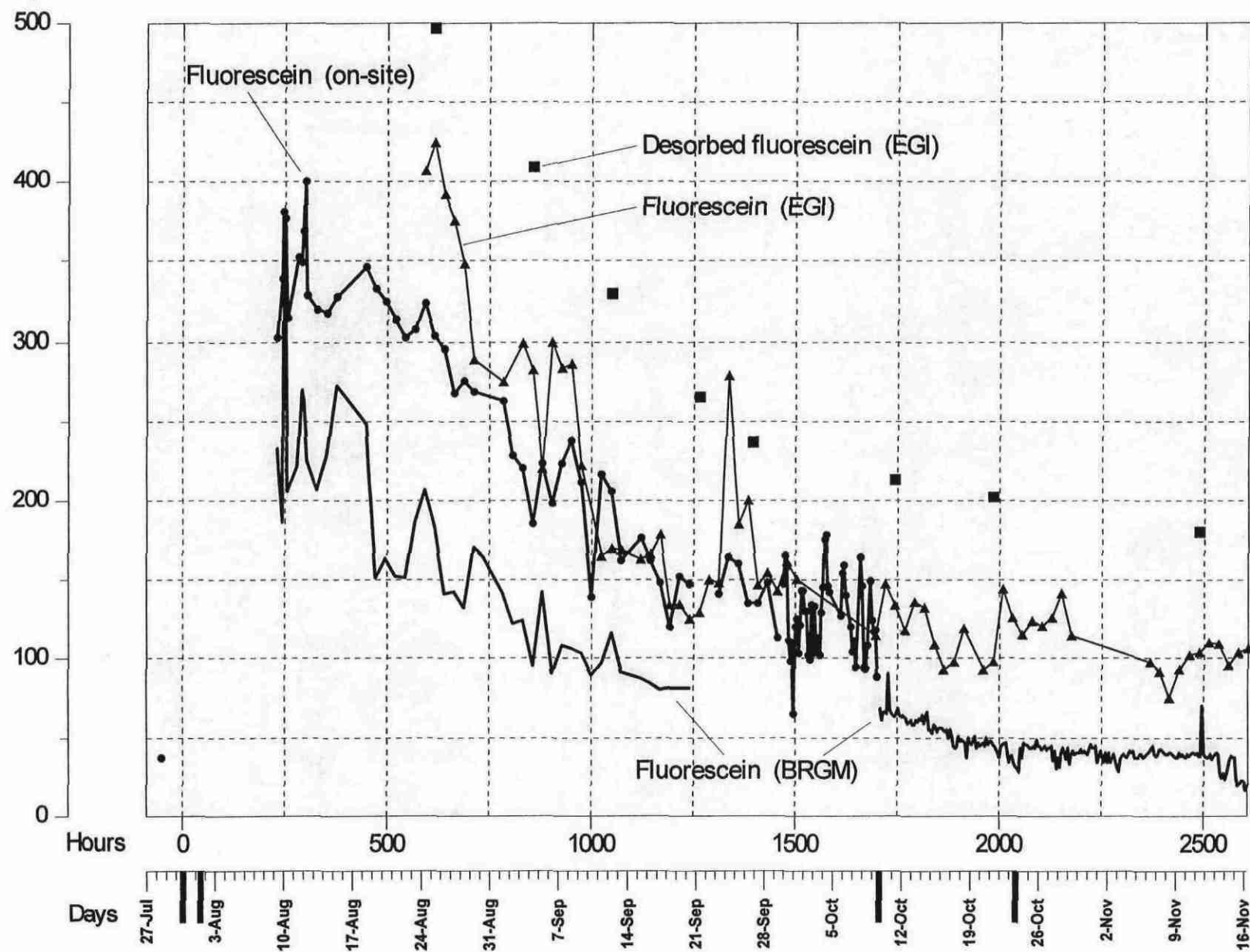
Soultz-sous-Forêts Tracer Tests - July / november 1997



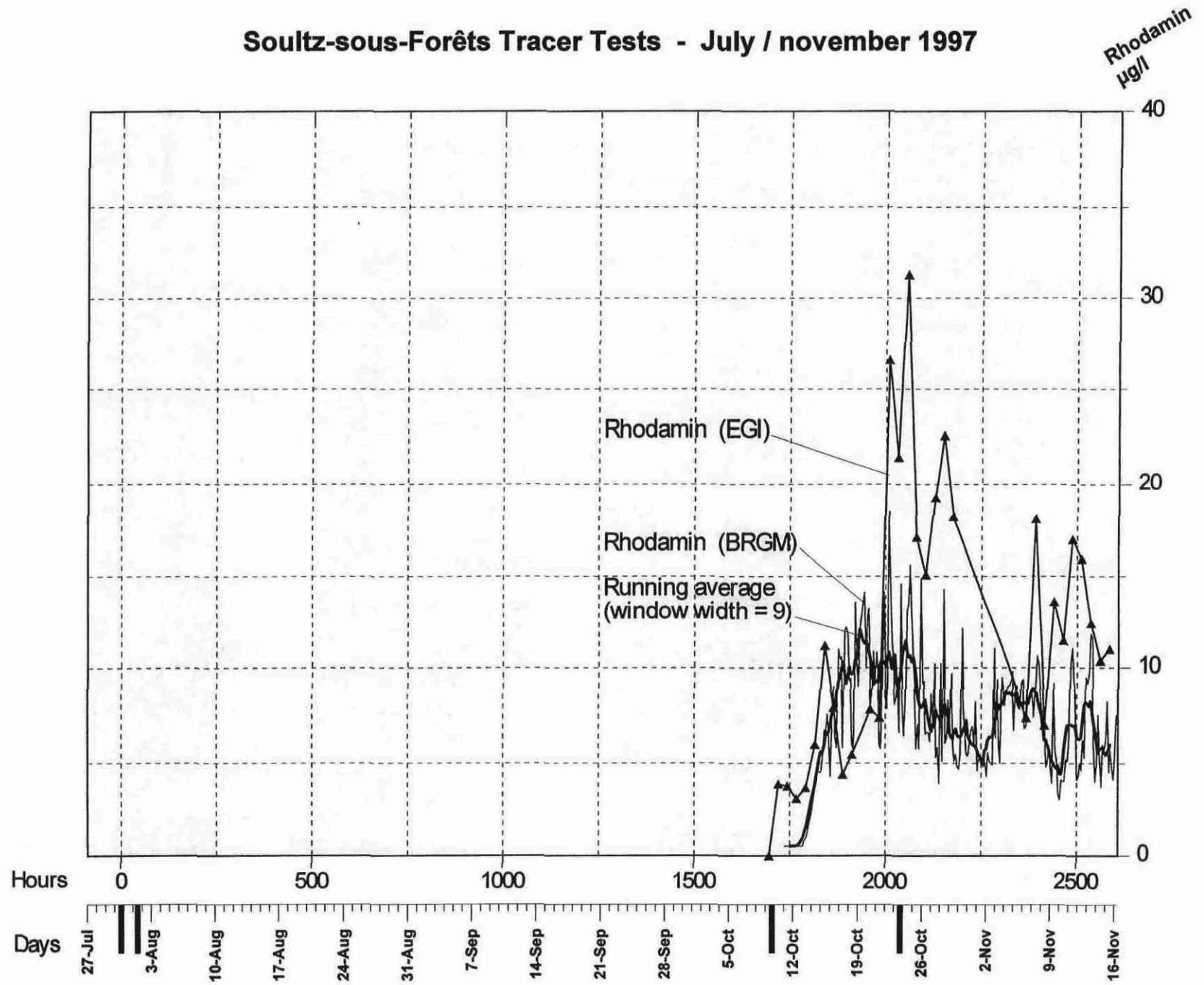


Fluorescein
µg/l

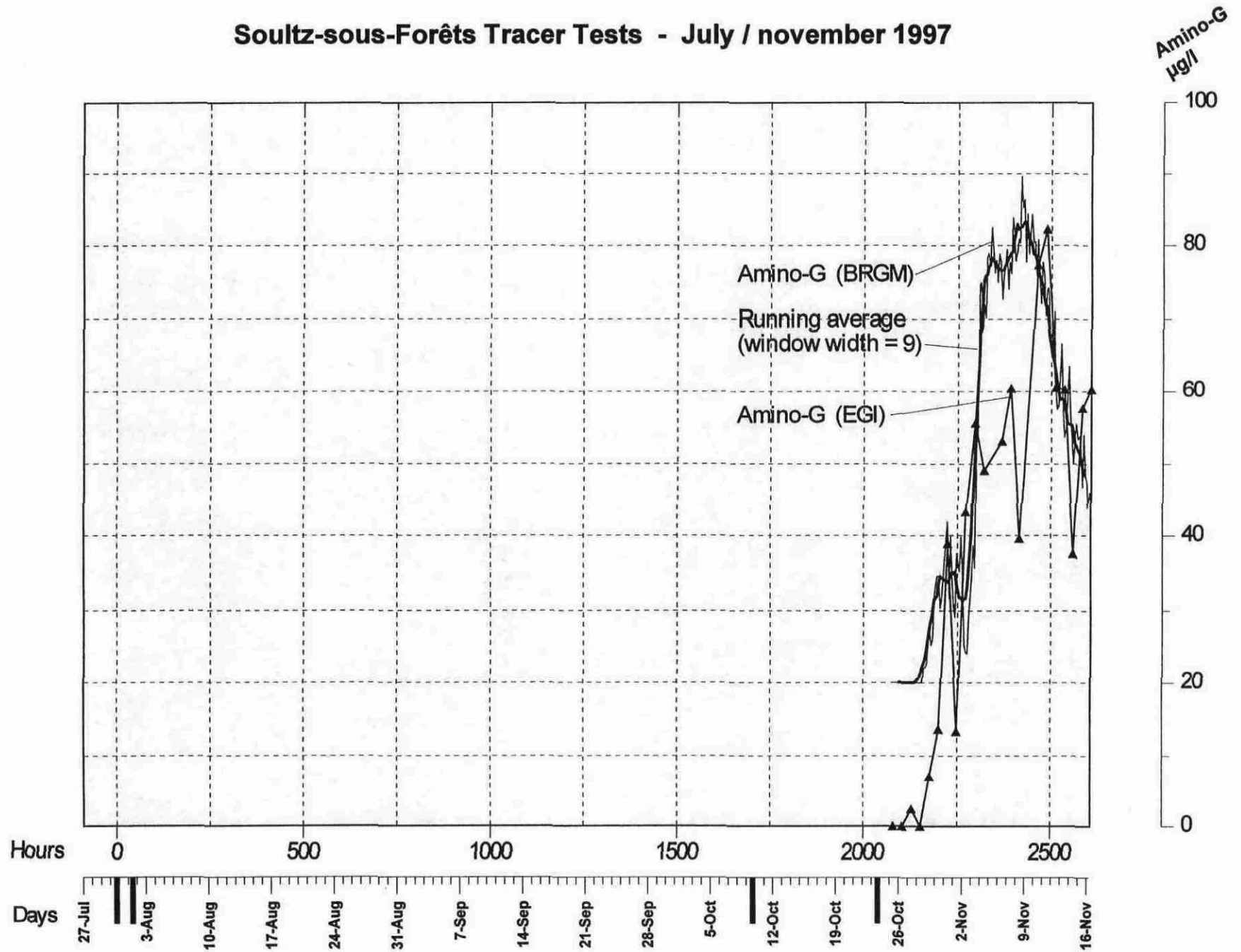
Soultz-sous-Forêts Tracer Tests - July / november 1997

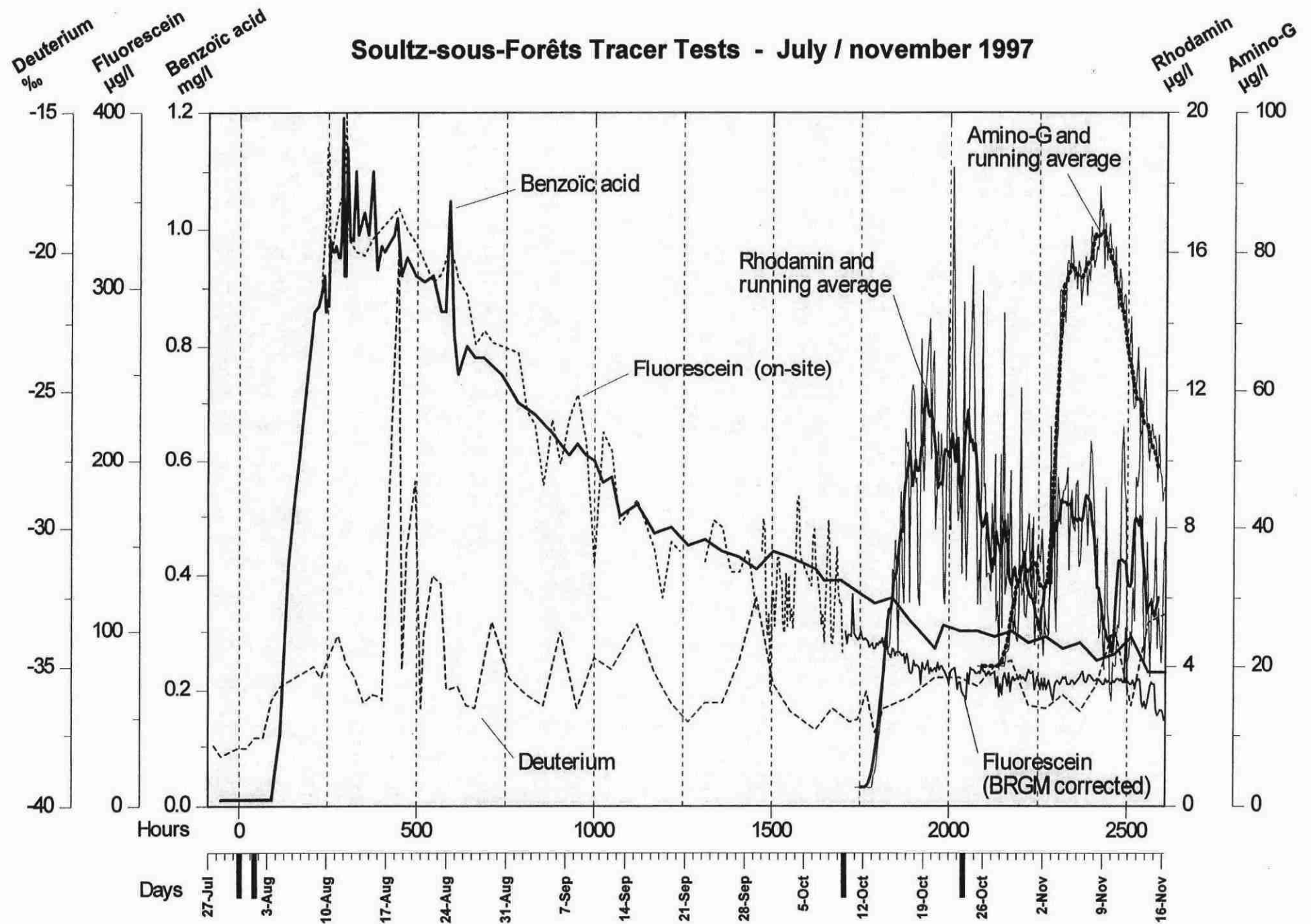


Soultz-sous-Forêts Tracer Tests - July / november 1997

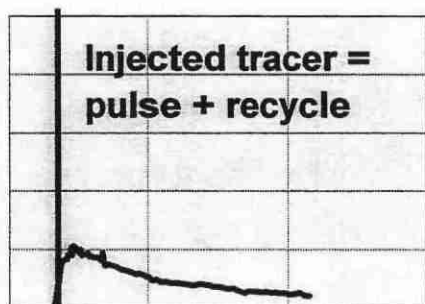


Soultz-sous-Forêts Tracer Tests - July / november 1997





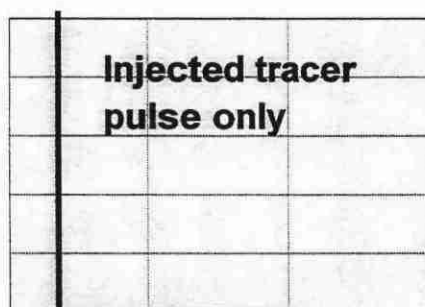
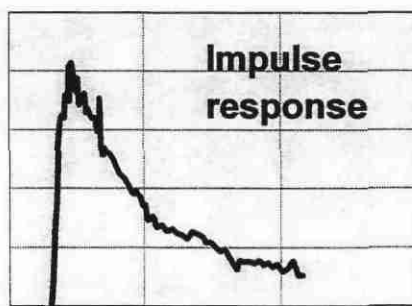
Correction for recycle



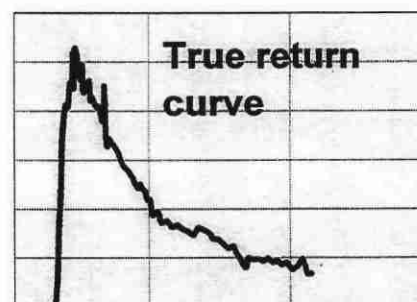
$h(m)$?
→
Deconvolution

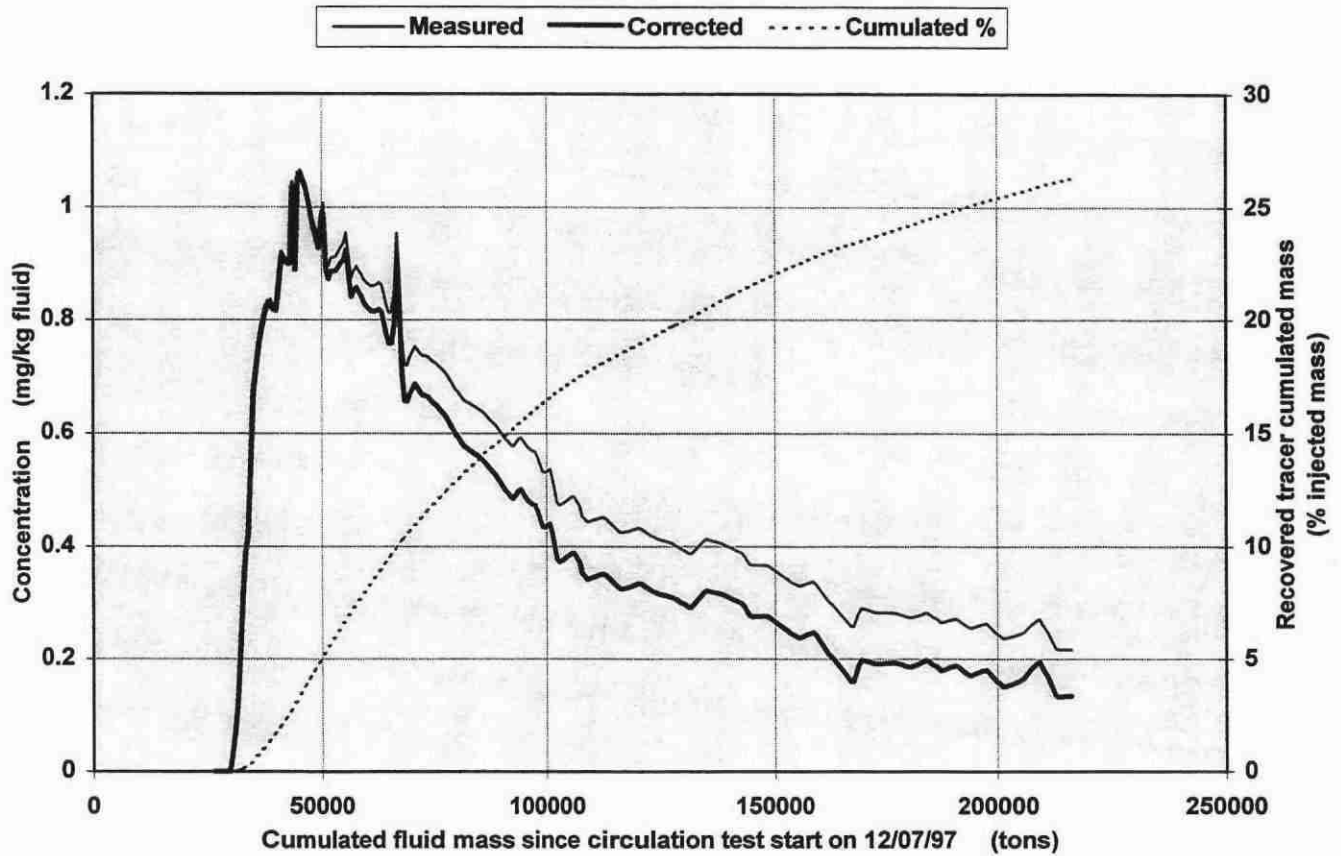
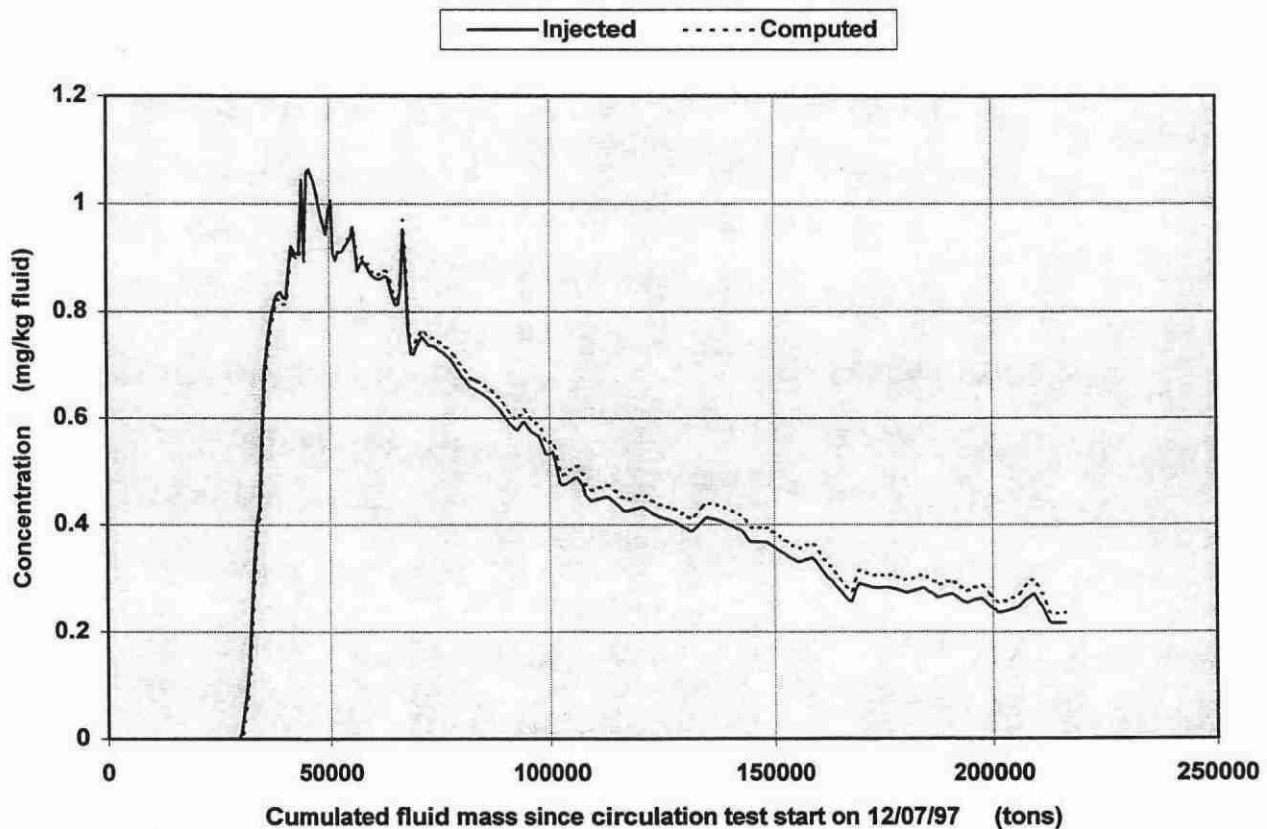


$h(m) =$

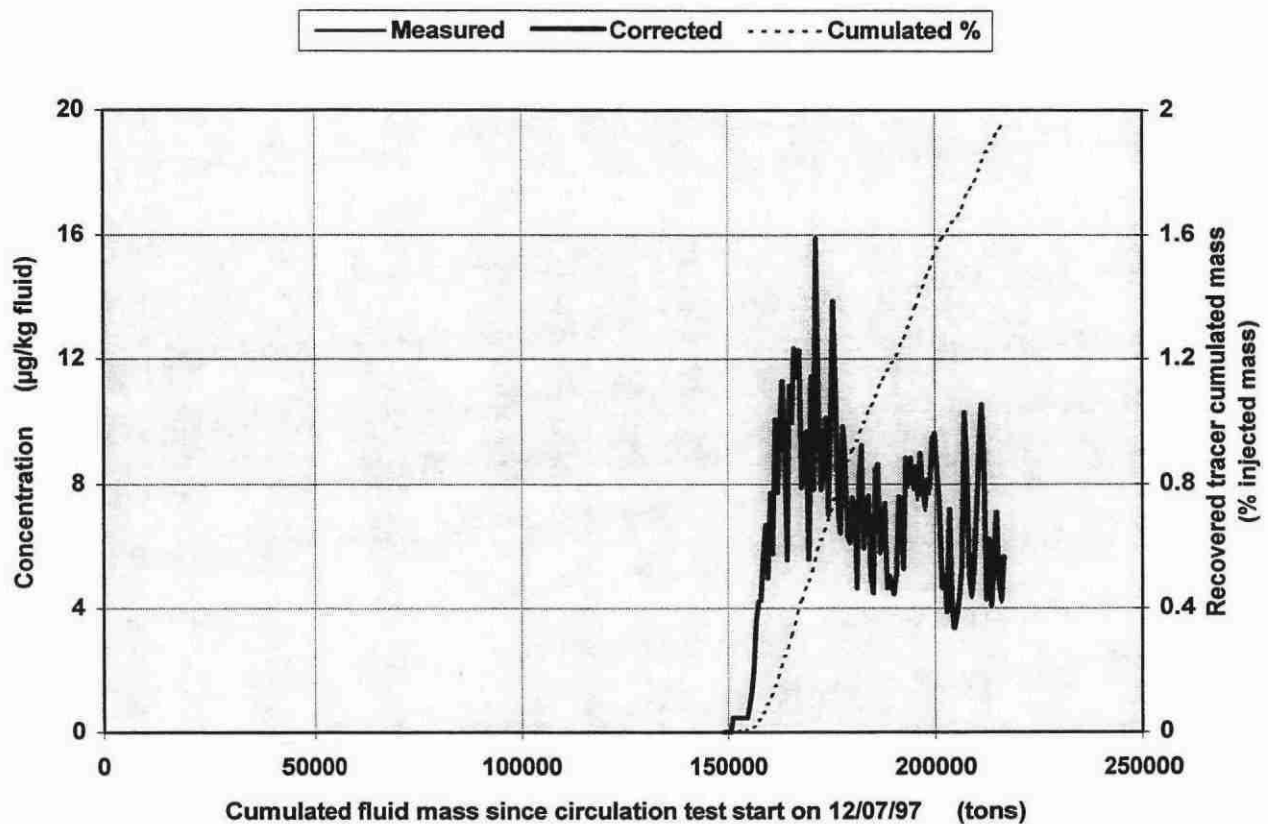


$* h(m)$
→
Convolution

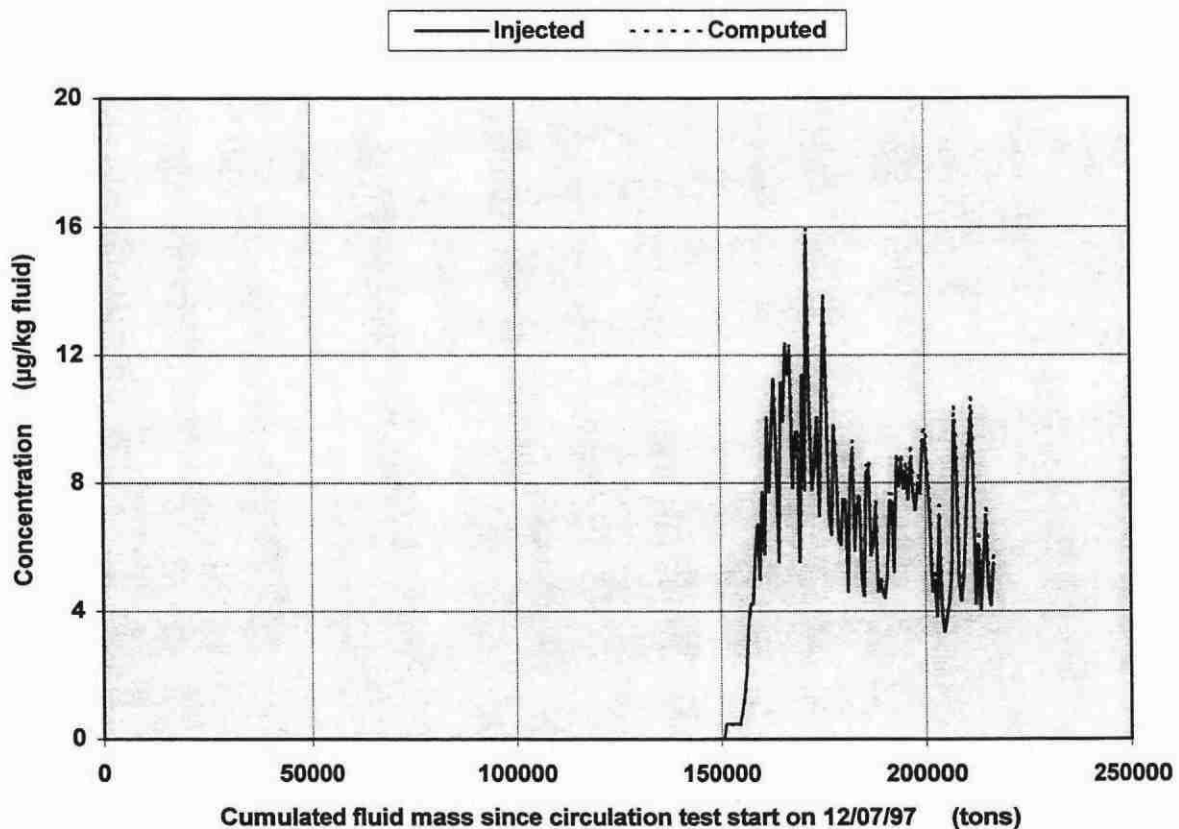


Benzoïc acid : correction for recycle**Benzoïc acid : model fit**

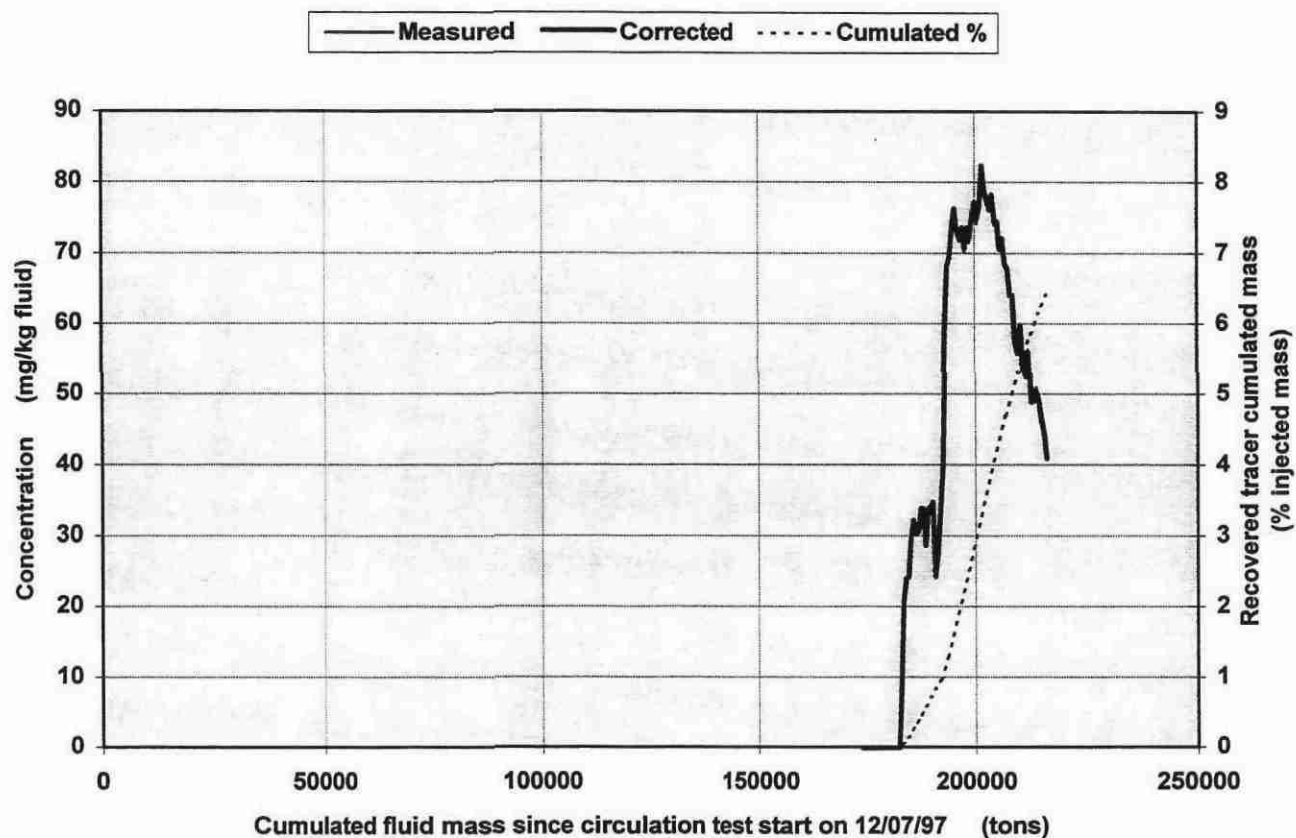
Rhodamin : correction for recycle



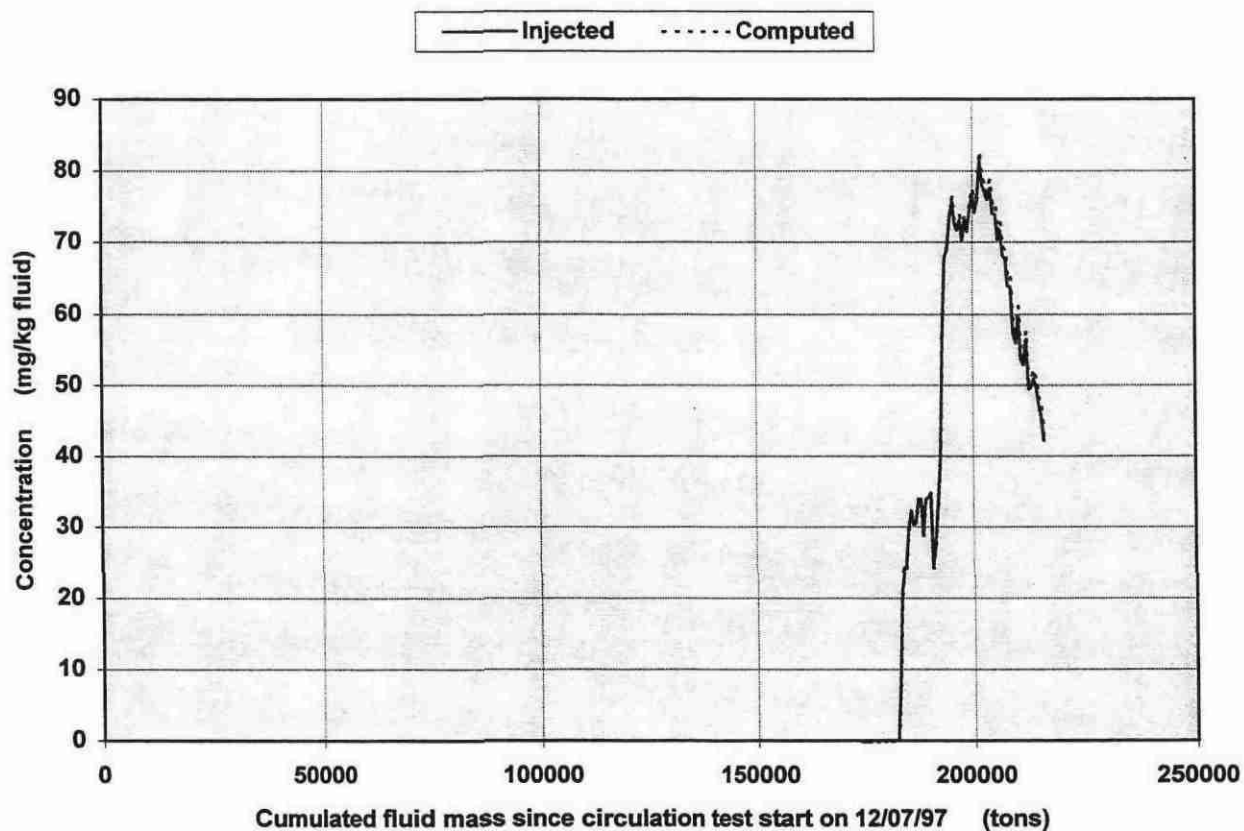
Rhodamin : model fit



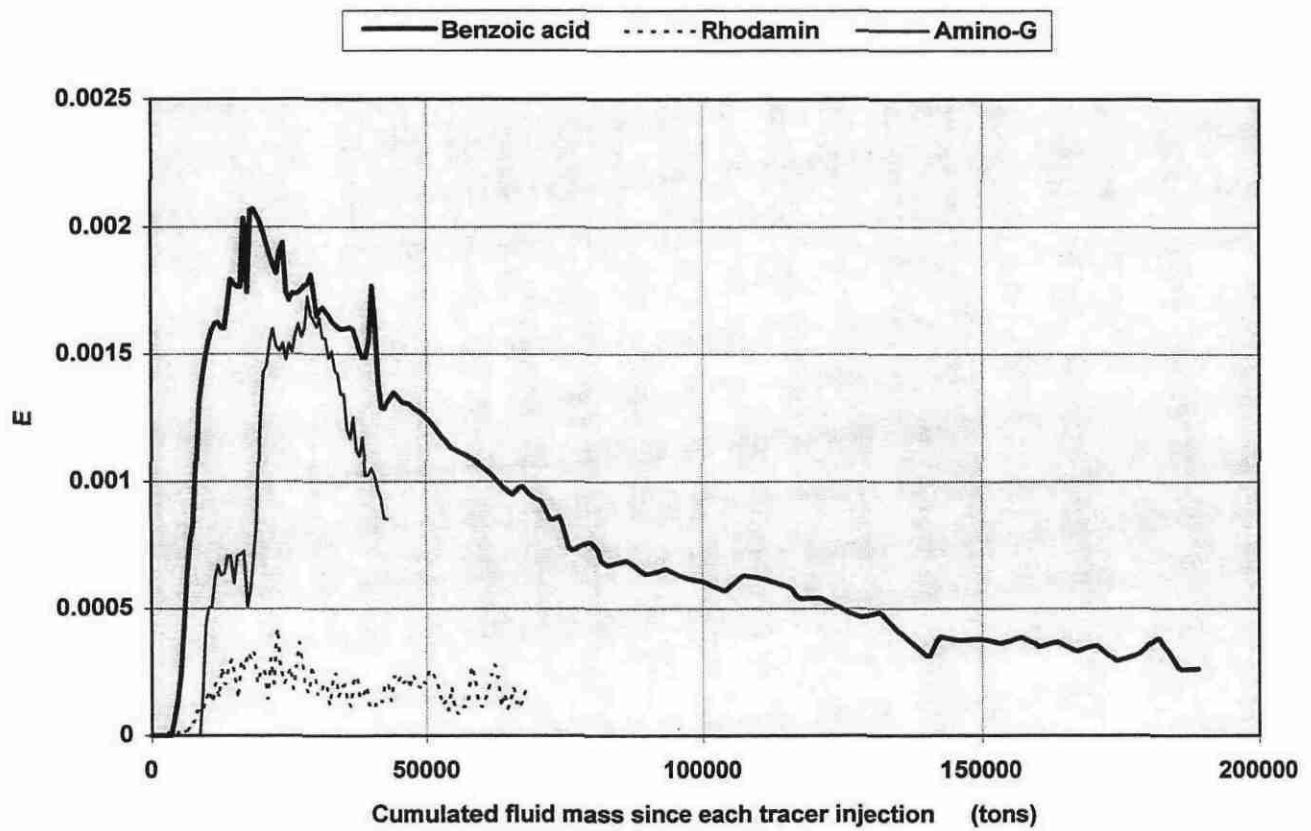
Amino-G : correction for recycle



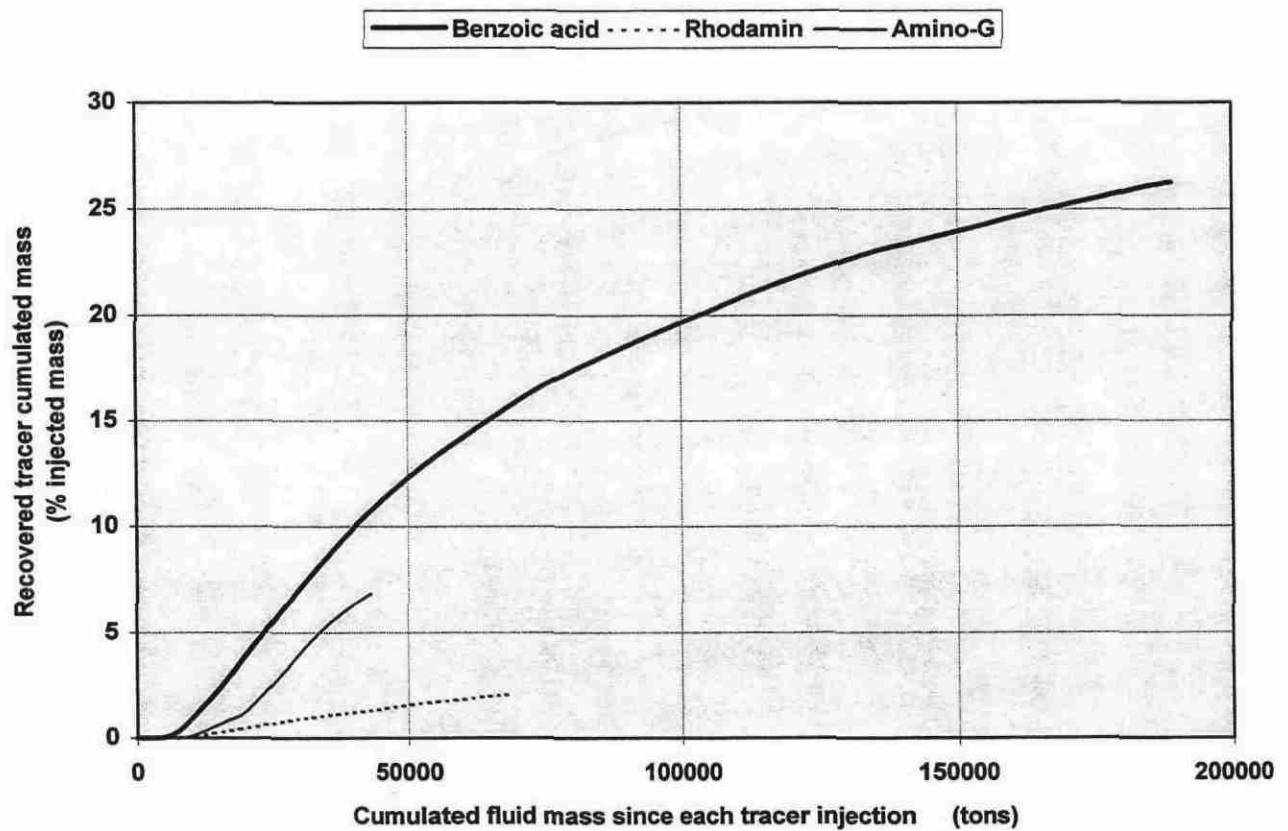
Amino-G : model fit



Impulse responses comparison



Cumulated mass comparison



BRGM
DIRECTION DE LA RECHERCHE
Laboratoire de Géochimie et d'Hydrogéologie
BP 6009 - 45060 ORLEANS Cedex 2 - France - Tél. : (33) 02.38.64.34.34