

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 ( $85 \text{ m}^3/\text{h}$ ), a permis d'obtenir un fluide dont la température en surface a atteint 142 °C.

## Sommaire

<b>Synthèse .....</b>	<b>3</b>
<b>Sommaire.....</b>	<b>5</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>7</b>
<b>1. Dispositif expérimental.....</b>	<b>9</b>
<b>2. Etude du colmatage et de la corrosion.....</b>	<b>11</b>
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
<b>3 Etude de l'évolution des caractéristiques physico-chimiques du fluide .....</b>	<b>15</b>
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
<b>4. Traçages.....</b>	<b>21</b>
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
<b>Conclusion .....</b>	<b>35</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>37</b>
<b>Liste des annexes.....</b>	<b>39</b>

## 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 ( $T = 160^{\circ}\text{C}$ ) et GPK2 à 3876 m ( $T = 168^{\circ}\text{C}$ ), 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 microseismiques) 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 ( $T > 140$  °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<sup>3</sup>/h d'eau froide pompée à l'une des extrémités d'un étang artificiel contenant environ 20 000 m<sup>3</sup> 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<sub>2</sub> et d'azote N<sub>2</sub>.

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<sub>2</sub> et en gaz carbonique CO<sub>2</sub> en fonction de la pression sont inversement corrélées : le CO<sub>2</sub> est prépondérant lorsque la pression est inférieure à 15 bars, le pourcentage de N<sub>2</sub> dans le gaz est supérieur à celui du CO<sub>2</sub> 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<sup>2</sup> 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<sub>2</sub>) 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 µm sur filtres d'acétate de cellulose.
- anions : échantillons filtrés à 0,45 µm 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 m<sup>3</sup> 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 ( $\text{Cl}^-$ ) 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 ( $\text{Ca}^{2+}$ ) 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  $\text{HCO}_3^-$ /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 ( $\text{SiO}_2$ ) 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  $[\text{g}/\text{kg}_{\text{sol}}]$ , silice en  $[\text{mg}/\text{l}_{\text{sol}}]$ , alcalinité en  $[\text{meq}/\text{l}_{\text{sol}}]$ ) en une unité commune indépendante de la température et de la pression, la molalité = mole par kilo d'eau =  $[\text{mol}/\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}]$  (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  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ , 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 ( $[\text{g}/\text{kg}_{\text{sol}}]$ ) en molalité  $[\text{mol}/\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}]$ .

**Calcul de la densité du fluide** : la connaissance de la densité est indispensable pour convertir en molalité les unités de concentration en silice ( $[\text{mg}/\text{l}_{\text{sol}}]$ ) 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 ( $T < 300^\circ\text{C}$ ) 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  $20^\circ\text{C}$  et de la densité mesurée à  $20^\circ\text{C}$  sur les mêmes échantillons montre une très bonne adéquation entre les deux résultats : l'écart maximal est de  $0,002 \text{ g/cm}^3$  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 m<sup>3</sup> (2 à 3.10<sup>8</sup> l).
- On peut également approcher de façon très sommaire le volume de l'échangeur en le calculant de la manière suivante : (distance entre puits)<sup>2</sup> 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 D<sub>2</sub>O (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 m<sup>3</sup> pour le stockage de la solution de traçage ;
- Une pompe de re-circulation d'un débit de 10 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>. 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 suffit 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 m<sup>3</sup> 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<sup>ème</sup>, 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<sup>ème</sup>, 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<sup>ème</sup>. 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<sup>ème</sup>, 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'amino-G est analysée par chromatographie liquide haute performance avec détection spectrofluorimétrique (dilution des échantillons 1/5<sup>ème</sup>, 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'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 unité 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 impulsionales** : enfin, les réponses impulsionales de chaque traceur peuvent être comparées, puisqu'elles représentent la réponse du système à une même injection unité 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 ( $85 \text{ m}^3/\text{h}$ ), 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-Ressources 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-Ressources 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 Resources 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**

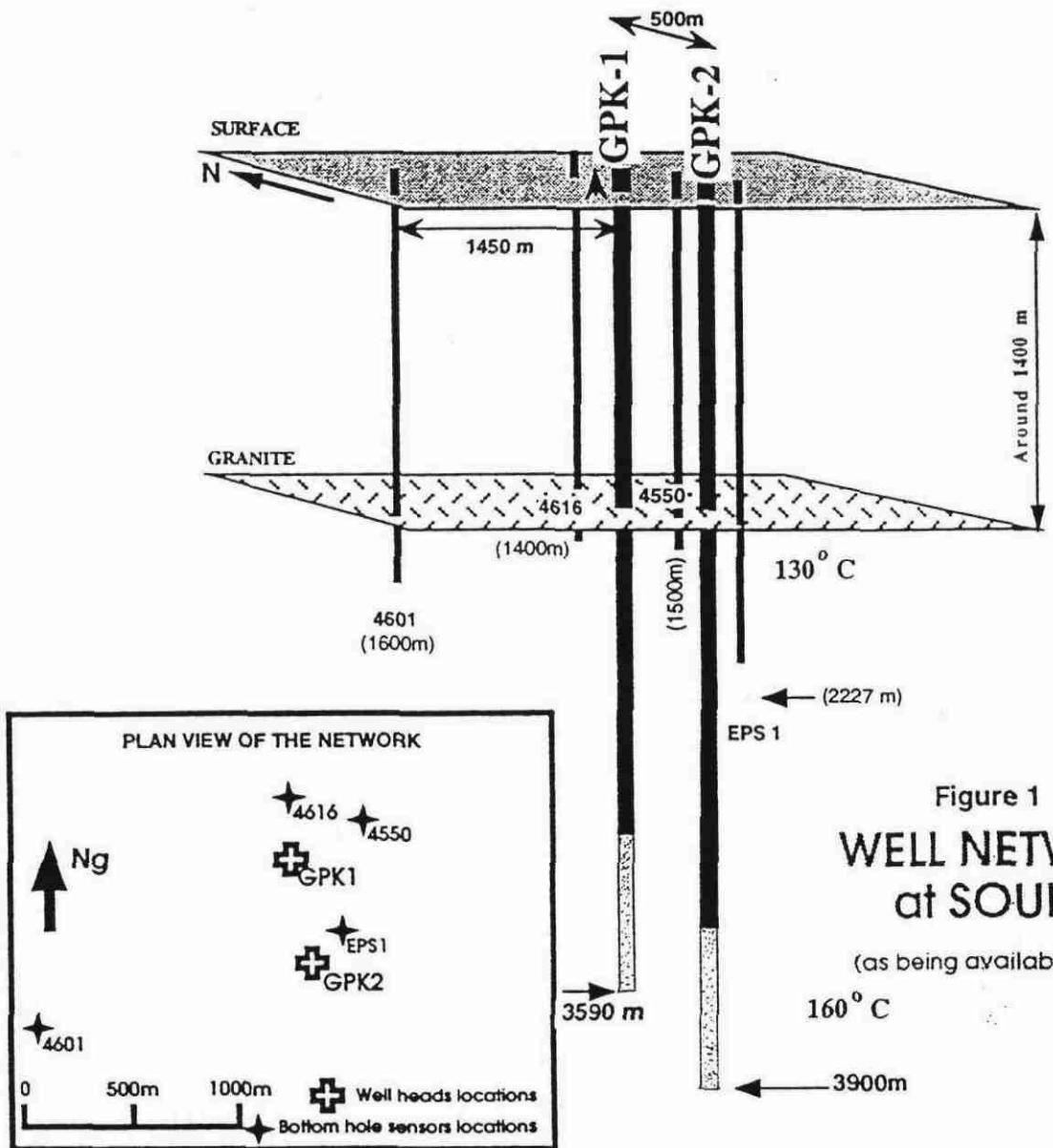
- 0 :** Dispositif de forages du site expérimental de Soultz-sous-Forêts.
- 
- 1.1 :** Dispositif expérimental mis en œuvre pour le test de circulation.  
**1.2 :** Température du fluide pompé (Tw2) et réinjecté (Tw1).  
**1.3 :** Rabattement dans GPK2 (drawdown) et pression de réinjection (Pw1).
- 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







## **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).**
-



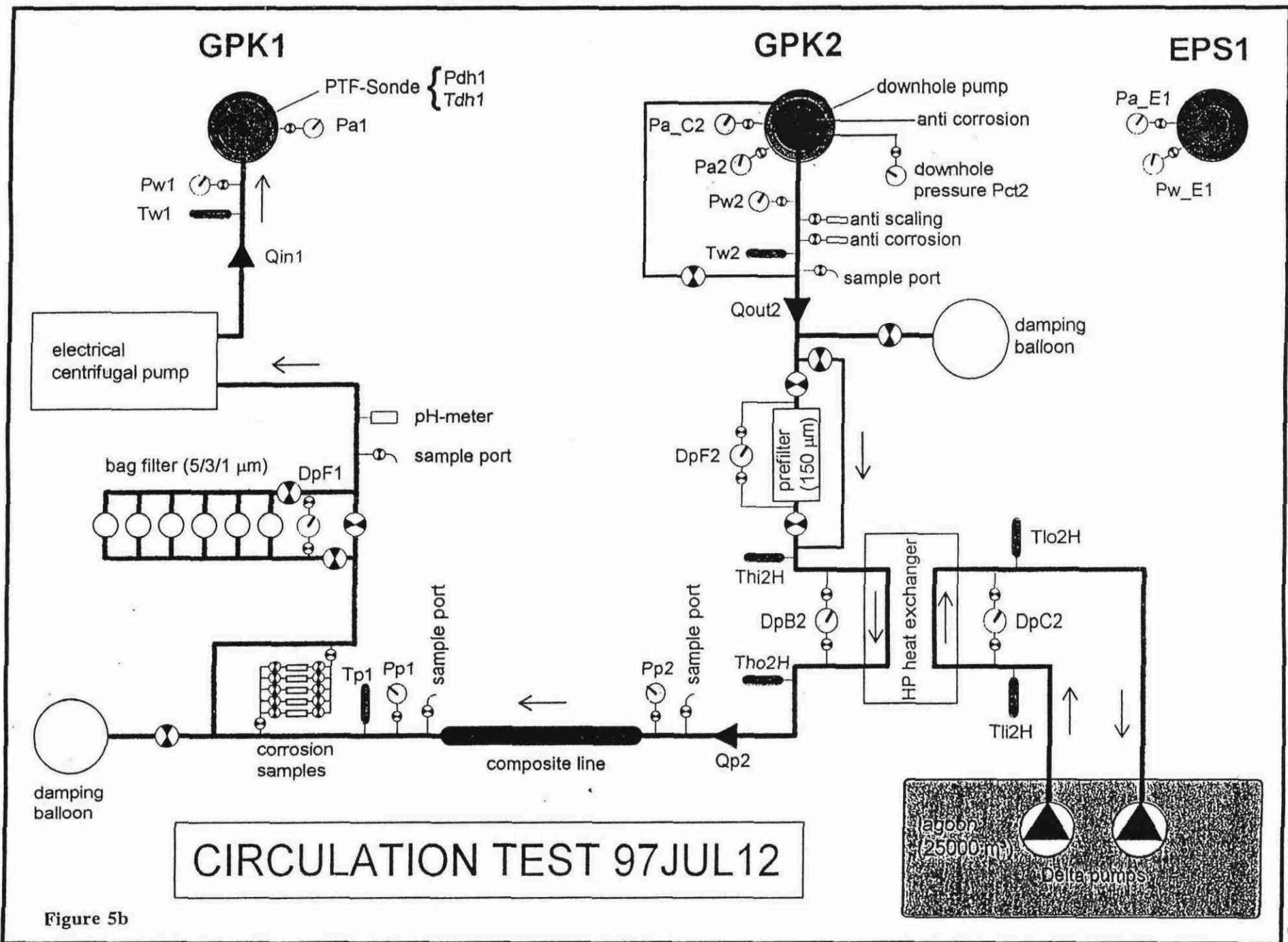
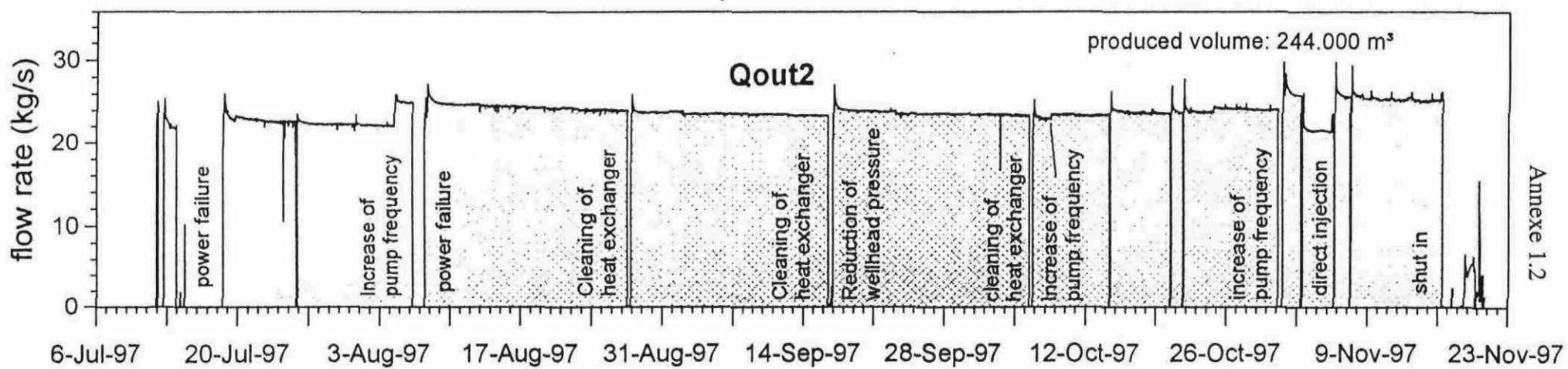
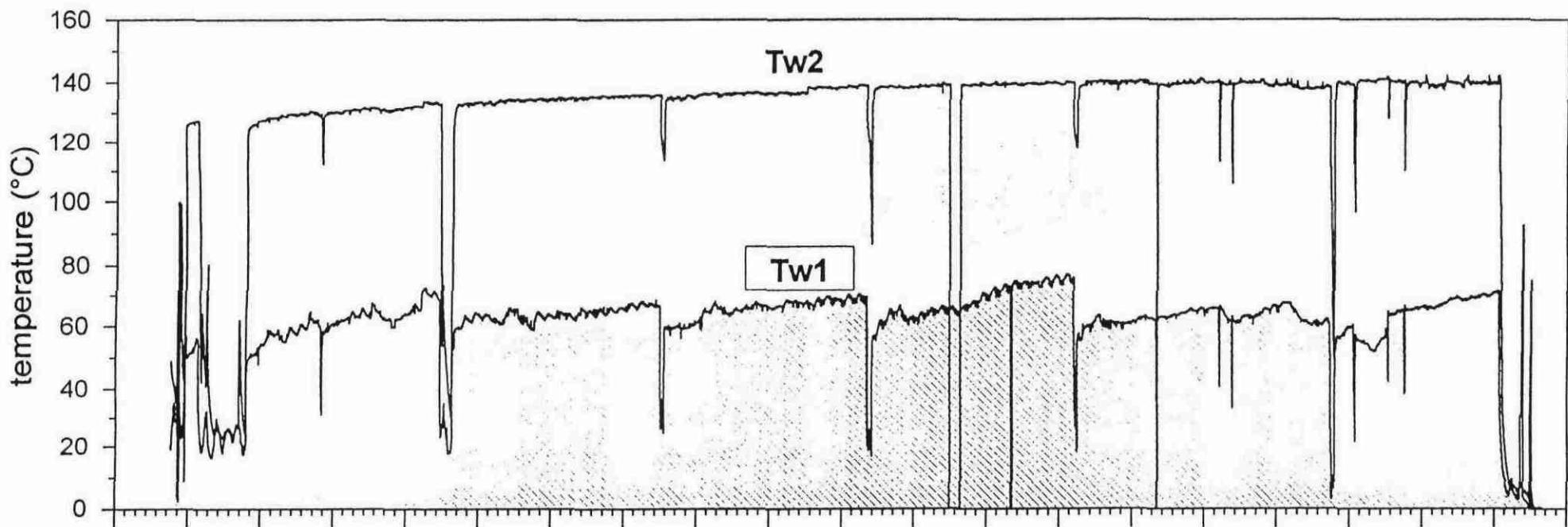


Figure 5b

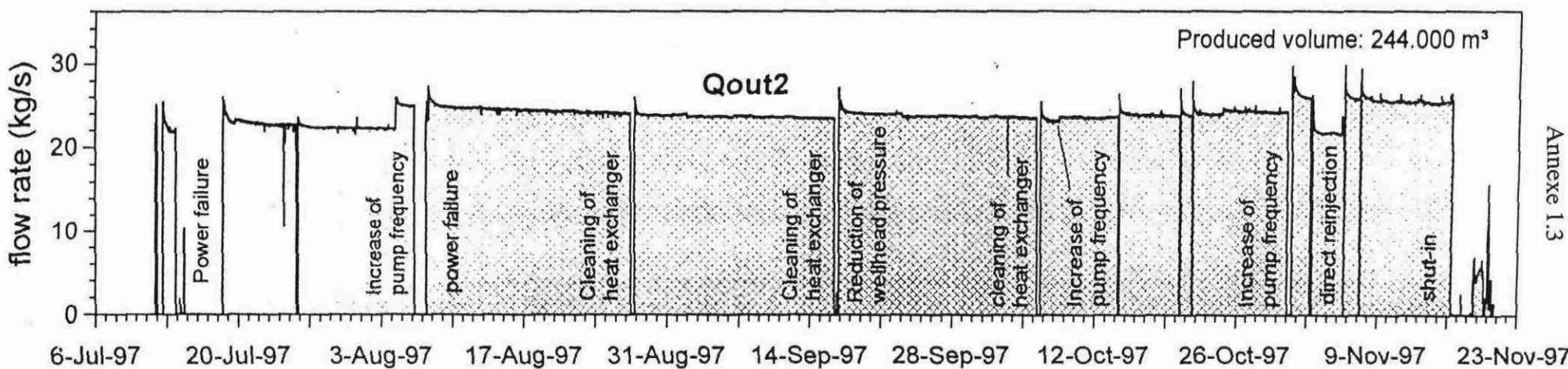
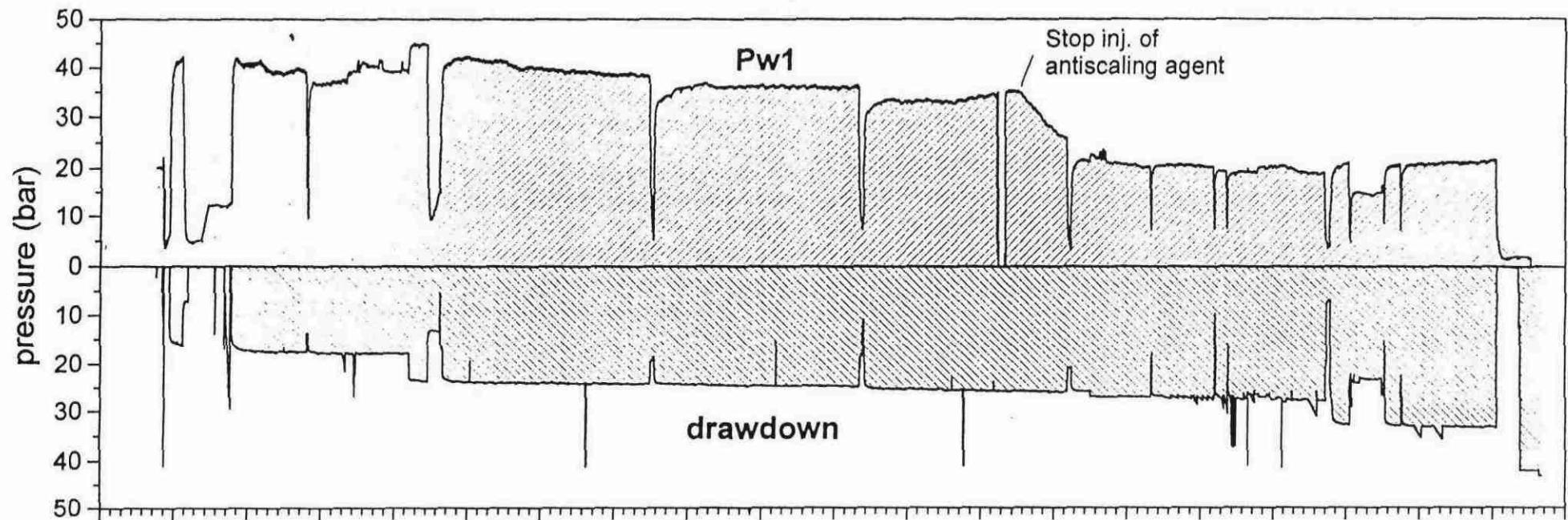
# CIRCULATION EXPERIMENT 97JUL12

19-Oct-97  
final3.bak



# CIRCULATION EXPERIMENT 97JUL12

28-Nov-97  
final1.grf



Annexe 1.3



## **Annexes 2**

- 
- 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.**
-



## Evaluation du risque d'apparition de dépots 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	CO <sub>2</sub>	79	2.1e-2	pH	7.10	8.60
Alcalinité	457.5	N <sub>2</sub>	11	nd	Alcalinité	23.2	34.16
Cl	61000	H <sub>2</sub>	7.2	2.7e-5	Dureté	18.4	95
SO <sub>4</sub>	198	CH <sub>4</sub>	3.4	3.8e-6			
Na	27900	He	0.45	nd			
K	2810	Ar	0.074	3.7e-5			
Ca	7300	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0.03	nd			
Mg	112	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0.0011	nd			
SiO <sub>2</sub>	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 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 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

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			4.97	-0.88	0.34
SOLMINEQ	1	20	4.98	-0.83	0.59
SOLMINEQ (Pitzer)			4.98	-0.82	0.59
TPDEGAZ			5.35	1.1	-0.36
SOLMINEQ	1	160	5.02	0.31	-0.33
SOLMINEQ (Pitzer)			5.05	0.26	-0.33
TPDEGAZ			4.78	-1.29	0.24
SOLMINEQ	350	20	4.97	-1.02	0.51
SOLMINEQ (Pitzer)			4.96	-1	0.51
TPDEGAZ			5.21	0.78	-0.49
SOLMINEQ	350	160	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 absolu. 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 m<sup>3</sup>/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.

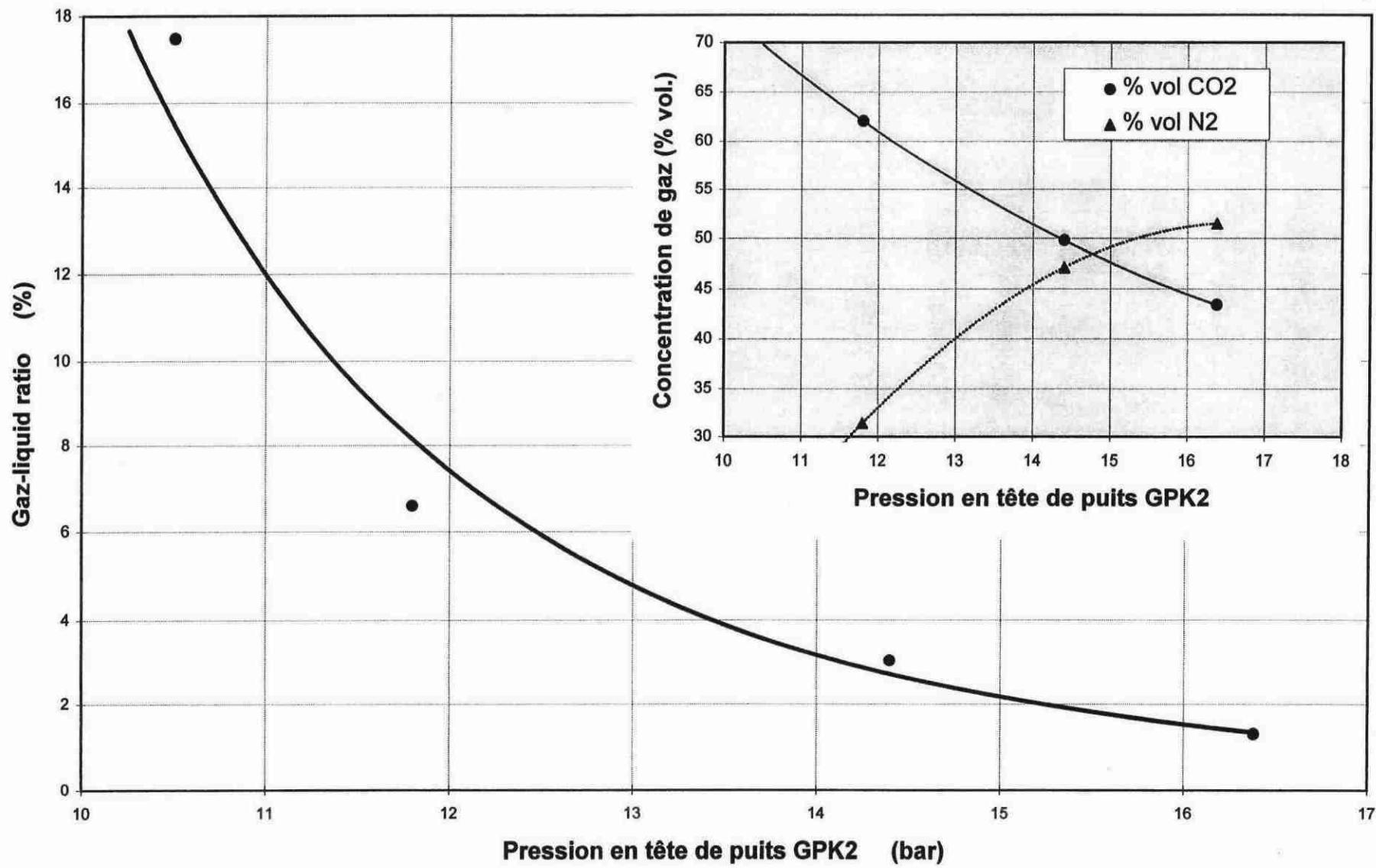
L'eau de l'étang est sur-saturée en calcite lorsqu'elle est chauffée à 60 °C, alors que l'eau du réseau est sous-saturée. Le risque de dépôt n'existe donc que lors de l'utilisation de l'eau de l'étang dans l'échangeur. Le calcul montre qu'il est nécessaire d'ajouter environ 0,7 mmol/l d'HCl pour abaisser le pH jusqu'à 4. Pour un débit de 50 m<sup>3</sup>/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 - Eté 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	5.49 l	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

**Traitements des spectres** : Logiciel Diffrac AT

**RESULTATS****Echantillon Soultz - 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 <sub>3</sub>
Aragonite	Ca CO <sub>3</sub>
Maghémite	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Lépidocrocite	Fe O (OH)
Microcline	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . K <sub>2</sub> O . 6 Si O <sub>2</sub>
Illite	(K, H <sub>3</sub> O) Al <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> Al O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>
Pyrophyllite	Al <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>
Pyrolusite	Mn O <sub>2</sub>
Manganite	Mn O OH

**Echantillon Soultz 29-9-97**

Fraction amorphe aux rayons X très importante également.  
Phases minérales cristallisées en traces :

Halite  
Calcite  
Maghémite  
Dolomite = Ca Mg (CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>  
Aragonite  
Si O<sub>2</sub>  
Sylvite = K Cl  
Manganite  
Pyrolusite

Identification		Manganèse	
Labo	Client	Unité	g/t
LDI		20.	
LDS		5000	
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 SiO<sub>2</sub>: Silice Ca: Calcium

Mg : Magnésium

Fe: Fer total

### Mn : Managanèse

#### REFERENCES

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

## MÉTHODES ANALYTIQUES:

## I) 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 ( $> 100\text{mg/t}$ ) et sur demande par FUSION PLOMBEUSE ( $> 1\text{g/t}$ )

#### 4) Analyses Platinoides:

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

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

## RESULTS:

**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.

$\text{g/t} \equiv \text{gramme par tonne} \equiv \text{mg/kg} \equiv \text{ppm}$

Ech. / N.	Ele.	PP	SiO <sub>2</sub>	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 - Eté 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																
KP3-97-07-1	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															
KP3-97-07-2	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
KP3-97-07-3	13/07/97	04:00	12															
KP3-97-07-3	13/07/97	08:00	16															
KP3-97-07-3	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
KP3-97-07-4	13/07/97	16:00	24	1														
stop 21:30	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
	14/07/97	00:00	32															
	14/07/97	04:00	36															
	14/07/97	08:00	40															
	14/07/97	12:00	44															
	14/07/97	16:00	48	2														
	14/07/97	20:00	52															
	15/07/97	00:00	56															
	15/07/97	04:00	60															
	15/07/97	08:00	64															
	15/07/97	12:00	68															
	15/07/97	16:00	72	3														
	15/07/97	20:00	76															
	16/07/97	00:00	80															
	16/07/97	04:00	84															
	16/07/97	08:00	88															
	16/07/97	12:00	92															
	16/07/97	16:00	96	4														
	16/07/97	20:00	100															
	17/07/97	00:00	104															
	17/07/97	04:00	108															
	17/07/97	08:00	112															
	17/07/97	12:00	116															
	17/07/97	16:00	120	5														
	17/07/97	20:00	124															
	18/07/97	00:00	128															
	18/07/97	04:00	132															
restart 11:45	18/07/97	08:00	136															
	18/07/97	12:00	140															
KP3-97-07-5	18/07/97	15:30	144	6	95	0.18	5.07		42.412	1.285	6.685	0.179	4.63	4.75	32.6	0.56	1.047	
	18/07/97	20:00	148															
	19/07/97	00:00	152															

N° Echantillon	Date	Heure	h. cum	j. cum	Eh	O2	pH	pH cont.	Cl-	Ca2+	Alcalinité (HCO3-)	S(CO2)	p(20°C)	
					mV	mg/l			g/kg	mol/kg H2O	g/kg	mmol/kg H2O	mol/kg H2O	mmol/kg H2O
KP3-97-07-6	19/07/97	04:00	156	7					42.93	1.319	6.557	0.176	3.95	4.05
	19/07/97	09:30	160		93	0.35	4.82						36	0.61
KP3-97-07-7	19/07/97	12:00	164	7					43.88	1.333	6.037	0.162	4.04	4.15
	19/07/97	16:30	168		73	0.25	4.97						36.5	0.62
KP3-97-07-8	19/07/97	20:00	172	8										1.049
	20/07/97	00:00	176											
KP3-97-07-9	20/07/97	04:00	180	8					44.56	1.355	6.227	0.168	3.94	4.05
	20/07/97	08:00	184		72	0.82	5.55						40.1	0.69
KP3-97-07-10	20/07/97	11:30	188	9					44.765	1.362	6.217	0.167	4.08	4.19
	21/07/97	18:00	192		56	0.6	5.57		44.784	1.363	6.328	0.173	4.22	4.33
KP3-97-07-11	21/07/97	20:00	196	9									31.7	0.54
	21/07/97	00:00	200											1.050
Kp3-97-07-12	21/07/97	04:00	204	10										
	21/07/97	08:00	208											
Kp3-97-07-13	21/07/97	11:30	212	10	70	1.06	5.45		45.352	1.381	6.204	0.167	3.89	4.00
	21/07/97	17:00	216		56	0.6	5.57							
Kp3-97-07-14	21/07/97	20:00	220	11					45.688	1.392	6.084	0.164		
	22/07/97	00:00	224											
Kp3-97-07-15	22/07/97	04:00	228	12					45.852	1.398	6.16703	,0.166	3.41	3.50
	22/07/97	08:00	232											
Kp3-97-07-16	22/07/97	11:30	236	13	44	0.48	5.49							
	22/07/97	17:30	240		43	0.41	5.56							
Kp3-97-07-17	22/07/97	20:00	244	13										
	23/07/97	00:00	248											
Kp3-97-07-18	23/07/97	04:00	252	13										
	23/07/97	08:00	256											
Kp3-97-07-19	23/07/97	11:30	260	13	48	0.21	5.59		46.455	1.418	6.2129	0.168	3.58	3.68
	23/07/97	16:00	264											
Kp3-97-07-20	23/07/97	20:00	268	13										
	24/07/97	00:00	272											
Kp3-97-07-21	24/07/97	04:00	276	13										
	24/07/97	08:00	280											
Kp3-97-07-22	24/07/97	10:30	284	13	52	2.77	5.34		45.852	1.398	6.16703	,0.166	3.41	3.50
	24/07/97	16:00	288											
Kp3-97-07-23	24/07/97	20:00	292	13										
	25/07/97	00:00	296											
Kp3-97-07-24	25/07/97	04:00	300	13										
	25/07/97	08:00	304											
Kp3-97-07-25	25/07/97	11:00	308	13	34	0.29	5.73		46.455	1.418	6.2129	0.168	3.58	3.68
	25/07/97	16:00	312											
17:15 - 19:45	25/07/97	20:00	316	13										
	26/07/97	00:00	320											
17:15 - 19:45	26/07/97	04:00	324											

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
Kp3-97-07-17	26/07/97	08:00	328	14	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	11:00	332														
	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	79	0.27	5.3		46.475	1.418	6.48	0.175	4.05	4.16			1.053
	27/07/97	12:00	356														
	27/07/97	18:00	360														
	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	79	0.27	5.3		47.009	1.436	6.5405	0.177	3.5	3.60			1.054
	28/07/97	11:00	380														
	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	79	0.36	5.33		46.77	1.428	6.6958	0.188	3.6	3.70			1.054
	29/07/97	11:00	404														
	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	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	11:00	428														
	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	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	11:30	452														
	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	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	12:00	476														
	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	mmol/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															
KP3-97-08-25	03/08/97	12:00	524	22	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															
	04/08/97	08:00	544															
KP3-97-08-26	04/08/97	12:30	548	23	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															
	05/08/97	04:00	564															
	05/08/97	08:00	568															
KP3-97-08-27	05/08/97	12:00	572	24	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															
	06/08/97	00:00	584															
	06/08/97	04:00	588															
	06/08/97	08:00	592															
stop 06:15	06/08/97	12:00	596	25														
	06/08/97	16:00	600															
	06/08/97	20:00	604															
	07/08/97	00:00	608															
	07/08/97	04:00	612															
	07/08/97	08:00	616															
restart 10:30	07/08/97	12:00	620	26														
	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															
KP3-97-08-28	08/08/97	12:30	644	27	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	$\sigma(20^\circ\text{C})$	
					mV	mg/l			g/kg H2O	mol/kg H2O	meq/l H2O	mmol/kg H2O	mg/l H2O	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
KP3-97-08-36	10/08/97	00:00	680				5.22		48.582	1.488	6.321	0.171		2.28
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		
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
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
KP3-97-08-51	12/08/97	12:00	740						49.55					
KP3-97-08-52	12/08/97	16:00	744	31					49.357					
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
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
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
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 <sup>-</sup> )		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																		
	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	36						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																		
KP3-97-08-86	18/08/97	16:00	888	37																	
KP3-97-08-87	18/08/97	20:00	892																		
KP3-97-08-88	19/08/97	00:00	896																		
KP3-97-08-89	19/08/97	04:00	900																		
KP3-97-08-90	19/08/97	08:00	904						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																		
KP3-97-08-92	19/08/97	16:00	912	38																	
	19/08/97	20:00	916																		
KP3-97-08-93	20/08/97	00:00	920																		
	20/08/97	04:00	924																		
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																		
	20/08/97	16:00	936	39																	
KP3-97-08-96	20/08/97	20:00	940																		
KP3-97-08-97	21/08/97	00:00	944																		
KP3-97-08-98	21/08/97	04:00	948																		
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																		
KP3-97-08-101	21/08/97	16:00	960	40																	
KP3-97-08-102	21/08/97	20:00	964																		
KP3-97-08-103	22/08/97	00:00	968																		
KP3-97-08-104	22/08/97	04:00	972																		
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																		
	22/08/97	16:00	984	41																	
KP3-97-08-107	22/08/97	20:00	988																		
KP3-97-08-108	23/08/97	00:00	992																		
KP3-97-08-109	23/08/97	04:00	996																		
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																		
KP3-97-08-112	23/08/97	16:00	1008	42																	
KP3-97-08-113	23/08/97	20:00	1012																		

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
KP3-97-08-114	24/08/97	00:00	1016						50.63								
KP3-97-08-115	24/08/97	04:00	1020						49.12								
KP3-97-08-116	24/08/97	08:00	1024						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	43					51.235								
KP3-97-08-119	24/08/97	20:00	1036						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						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	44					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						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						50.246								
KP3-97-08-130	26/08/97	16:00	1080	45					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						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	46													
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														
KP3-97-08-137	28/08/97	08:00	1120						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	47					51.497								
KP3-97-08-140	28/08/97	20:00	1132						50.274								
KP3-97-08-141	29/08/97	00:00	1136						50.659								
KP3-97-08-142	29/08/97	04:00	1140						50.516								
KP3-97-08-143	29/08/97	08:00	1144						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	48					50.845								
KP3-97-08-146	29/08/97	20:00	1156						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						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	49					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		ρ(20°C)
									mV	mg/l	g/kg	mol/kg H2O	g/kg	mol/kg H2O	meq/l	mmol/kg H2O	
KP3-97-08-154	31/08/97	04:00	1188										6.5				
KP3-97-08-155	31/08/97	08:00	1192														
KP3-97-08-156	31/08/97	12:00	1196														
KP3-97-08-157	31/08/97	16:00	1200	50							49.335						
KP3-97-08-158	31/08/97	20:00	1204								49.098						
KP3-97-09-159	01/09/97	00:00	1208								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
KP3-97-09-162	01/09/97	12:00	1220								48.445						
KP3-97-09-163	01/09/97	16:00	1224	51							49.912						
KP3-97-09-164	01/09/97	20:00	1228								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	
KP3-97-09-168	02/09/97	12:00	1244								49.3						1.059
KP3-97-09-169	02/09/97	16:00	1248	52							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
KP3-97-09-174	03/09/97	12:00	1268														1.058
KP3-97-09-175	03/09/97	16:00	1272	53							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		110	0.11	4.92	4.8			51.111	1.573	6.491	0.177	4.38	4.50	134
KP3-97-09-180	04/09/97	12:00	1292								51.665						
KP3-97-09-181	04/09/97	16:00	1296	54							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								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
KP3-97-09-186	05/09/97	12:00	1316								51.511						2.13
KP3-97-09-187	05/09/97	16:00	1320	55							51.247						1.060
KP3-97-09-188	05/09/97	20:00	1324								51.233						
KP3-97-09-189	06/09/97	00:00	1328								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
KP3-97-09-192	06/09/97	12:00	1340								51.484						2.18
KP3-97-09-193	06/09/97	16:00	1344	56							51.347						1.060
KP3-97-09-194	06/09/97	20:00	1348								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						

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
KP3-97-09-197	07/09/97	08:00	1360		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	57					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						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	58					51.73								
KP3-97-09-206	08/09/97	20:00	1396						51.793								
KP3-97-09-207	09/09/97	00:00	1400						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	59					51.376								
KP3-97-09-212	09/09/97	20:00	1420						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	60					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						51.48								
KP3-97-09-223	11/09/97	16:00	1464	61					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		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	62					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						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	63					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		$\rho(20^\circ\text{C})$
					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						51.384								
	14/09/97	16:00	1536	64					51.095								
KP3-97-09-237	14/09/97	20:00	1540						51.172								
KP3-97-09-238	15/09/97	00:00	1544						51.758	1.595	6.5591	0.179	4.15	4.27	147	2.52	1.062
KP3-97-09-239	15/09/97	04:00	1548						50.909								
KP3-97-09-240	15/09/97	08:00	1552		105	0.02	4.81	4.79	51.586								
KP3-97-09-241	15/09/97	12:00	1556	65					51.762								
KP3-97-09-242	15/09/97	16:00	1560														
KP3-97-09-243	16/09/97	20:00	1564														
KP3-97-09-244	16/09/97	00:00	1568														
KP3-97-09-245	16/09/97	04:00	1572														
stop 11:00	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
	16/09/97	12:00	1580						51.019								
restart 21:30	16/09/97	16:00	1584	66					51.663								
	16/09/97	20:00	1588														
KP3-97-09-246	17/09/97	00:00	1592														
KP3-97-09-247	17/09/97	04:00	1596														
KP3-97-09-248	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
KP3-97-09-249	17/09/97	12:00	1604						51.695								
KP3-97-09-250	17/09/97	16:00	1608	67													
KP3-97-09-251	17/09/97	20:00	1612						51.393								
KP3-97-09-252	18/09/97	00:00	1616						51.666								
KP3-97-09-253	18/09/97	04:00	1620						50.294								
KP3-97-09-254	18/09/97	08:00	1624		102	0	5.15	4.78	51.698	1.593	6.625	0.185	5.53	5.69	140.6	2.41	1.062
KP3-97-09-255	18/09/97	12:00	1628						51.782								
KP3-97-09-256	18/09/97	16:00	1632	68					51.754								
KP3-97-09-257	18/09/97	20:00	1636						51.898								
KP3-97-09-258	19/09/97	00:00	1640						51.811								
KP3-97-09-259	19/09/97	04:00	1644						51.665								
KP3-97-09-260	19/09/97	08:00	1648		94	0	5.06	4.78	51.636	1.594	6.533	0.178	4.7	4.83	131	2.24	1.062
KP3-97-09-261	19/09/97	12:00	1652						51.361								
KP3-97-09-262	19/09/97	16:00	1656	69													
KP3-97-09-263	19/09/97	20:00	1660														
KP3-97-09-264	20/09/97	00:00	1664														
KP3-97-09-265	20/09/97	04:00	1668														
KP3-97-09-266	20/09/97	08:00	1672		90	0	5.06	4.75	51.382	1.582	6.609	0.180	4.42	4.55	134	2.29	1.061
KP3-97-09-267	20/09/97	12:00	1676														
KP3-97-09-268	20/09/97	16:00	1680	70													
KP3-97-09-269	20/09/97	20:00	1684														
KP3-97-09-270	21/09/97	00:00	1688														
KP3-97-09-271	21/09/97	04:00	1692														
KP3-97-09-272	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
KP3-97-09-273	21/09/97	12:00	1700														

N° Echantillon	Date	Heure	h. cum	J. cum	Eh	O2	pH	pH cont.	Cl-		Ca2+		Alcalinité (HCO3-)		SiO2		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
KP3-97-09-274	21/09/97	16:00	1704	71						51.85								
KP3-97-09-275	21/09/97	20:00	1708							51.93								
KP3-97-09-276	22/09/97	00:00	1712							51.68								
KP3-97-09-277	22/09/97	04:00	1716							52.41	1.616	6.69	0.183	4.66	4.79	145.2	2.49	1.063
KP3-97-09-278	22/09/97	08:00	1720		108	0	5.16	4.79										
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							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	79							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								51.965										
KP3-97-09-328	30/09/97	16:00	1920	80							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						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	81							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								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	82							51.772										
KP3-97-10-341	02/10/97	20:00	1972								53.167										
KP3-97-10-342	03/10/97	00:00	1976								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	83							51.637										
KP3-97-10-347	03/10/97	20:00	1996								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	84							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																		
	05/10/97	16:00	2040	85																	
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	mmol/kg H2O	mg/l	mmol/kg H2O		
KP3-97-10-354	06/10/97	00:00	2048						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	86													
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														
	07/10/97	16:00	2088	87													
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						52.622								
	08/10/97	16:00	2112	88													
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														
	09/10/97	16:00	2136	89													
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														
KP4-97-10-67	10/10/97	16:15	2160	90													
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														
KP4-97-10-73	11/10/97	16:15	2184	91													
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														
KP4-97-10-79	12/10/97	16:00	2208	92													
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		ρ(20°C)	
									mV	mg/l	g/kg	mol/kg H2O	g/kg	mol/kg H2O	meq/l	mmol/kg H2O		
KP4-97-10-82	13/10/97	04:00	2220															
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
KP4-97-10-84	13/10/97	12:15	2228															
KP4-97-10-85	13/10/97	16:00	2232	93														
KP4-97-10-86	13/10/97	20:00	2236															
KP4-97-10-87	14/10/97	00:00	2240															
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
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															
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
KP4-97-10-96	15/10/97	12:00	2276	94														
KP4-97-10-97	15/10/97	16:00	2280															
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
KP4-97-10-102	16/10/97	12:00	2300															
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	95														
KP4-97-10-106	17/10/97	04:00	2316															
KP4-97-10-107	17/10/97	08:00	2320						148	0	5.05		53.67	1.659	6.69	0.183	4.5	4.63
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															
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
KP4-97-10-114	18/10/97	12:00	2348															
KP4-97-10-115	18/10/97	16:00	2352	96														
KP4-97-10-116	18/10/97	20:00	2356															
KP4-97-10-117	19/10/97	00:00	2360															
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		p(20°C)
									mV	mg/l	g/kg	mol/kg H2O	g/kg	mol/kg H2O	meq/l	mmol/kg H2O	mg/l
KP4-97-10-125	20/10/97	08:00	2392		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	100													
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														
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	101													
KP4-97-10-134	21/10/97	20:00	2428														
KP4-97-10-135	22/10/97	00:00	2432														
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	102													
KP4-97-10-140	22/10/97	20:00	2452														
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	103													
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														
KP3-97-10-431	24/10/97	16:00	2496	104													
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		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	105													
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														
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	106													
KP3-97-10-444	26/10/97	21:00	2548														
KP3-97-10-445	27/10/97	01:00	2552														
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

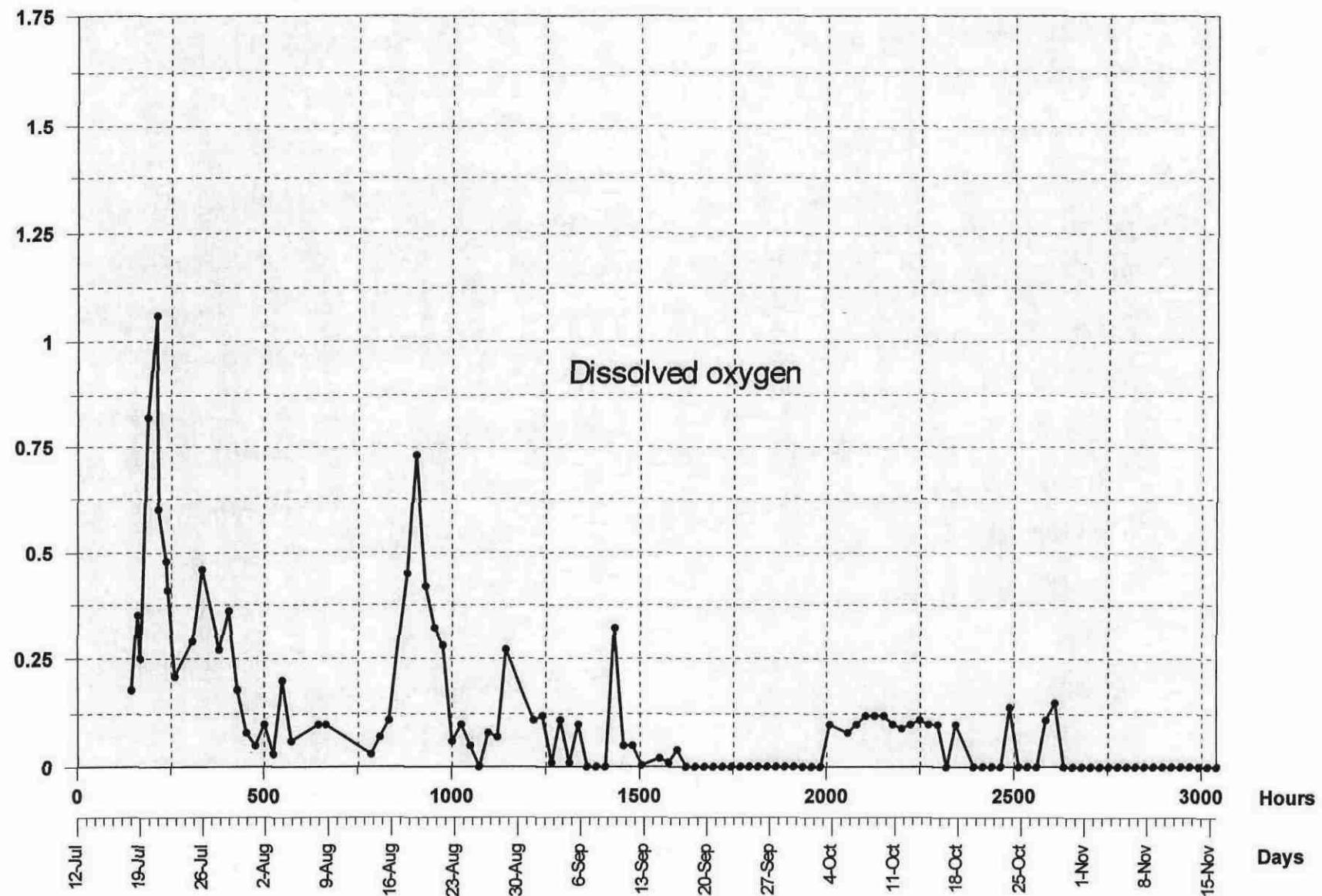
N° Echantillon	Date	Heure	h. cum	j. cum	Eh	O2	pH	pH cont.	Cl-	Ca2+	Alcalinité (HCO3-)	SiO2	p(20°C)				
					mV	mg/l			g/kg	mol/kg H2O	g/kg	mol/kg H2O	meq/l	mmol/kg H2O	mg/l	mmol/kg H2O	
KP3-97-10-448	27/10/97	13:00	2564														
KP3-97-10-449	27/10/97	17:00	2568	107													
KP3-97-10-450	27/10/97	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		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	108													
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		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
KP3-97-10-459	29/10/97	09:00	2608	109													
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														
KP3-97-10-464	30/10/97	05:00	2628		128	0	5.28	4.74	52.63	1.624	6.48	0.177	3.61	3.71	150.6	2.58	1.063
KP3-97-10-465	30/10/97	09:00	2632	110													
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														
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	111													
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	112	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														
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		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	113													
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														
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
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
KP3-97-11-534	10/11/97	21:00	2908														
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	122													
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														
KP3-97-11-545	12/11/97	17:00	2952	123													
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		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	124													
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														
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	125													
KP3-97-11-558	14/11/97	21:00	3004														
KP3-97-11-559	15/11/97	01:00	3008														
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	126													
KP3-97-11-564	15/11/97	21:00	3028														
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

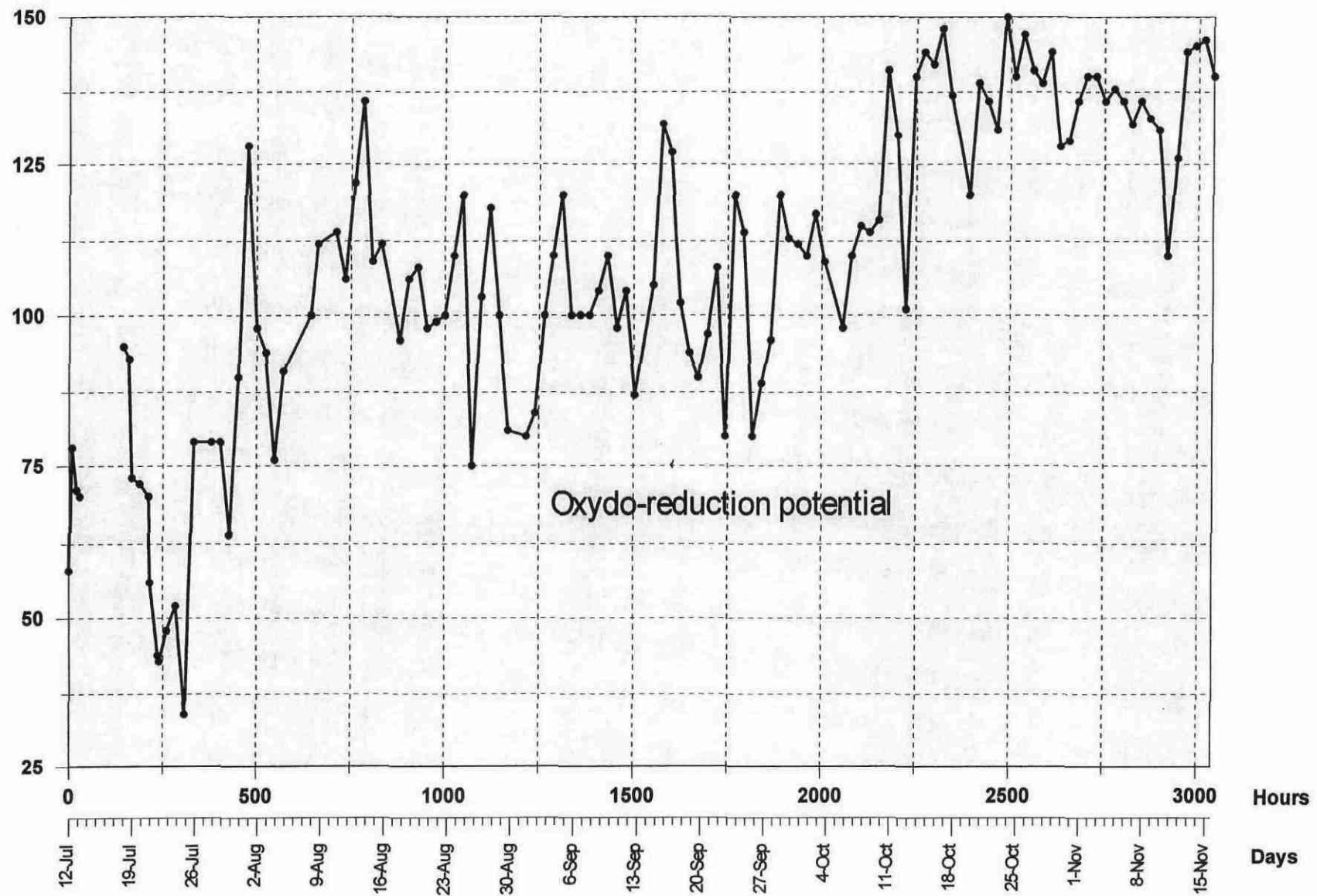
Dissolved oxygen  
mg/l

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



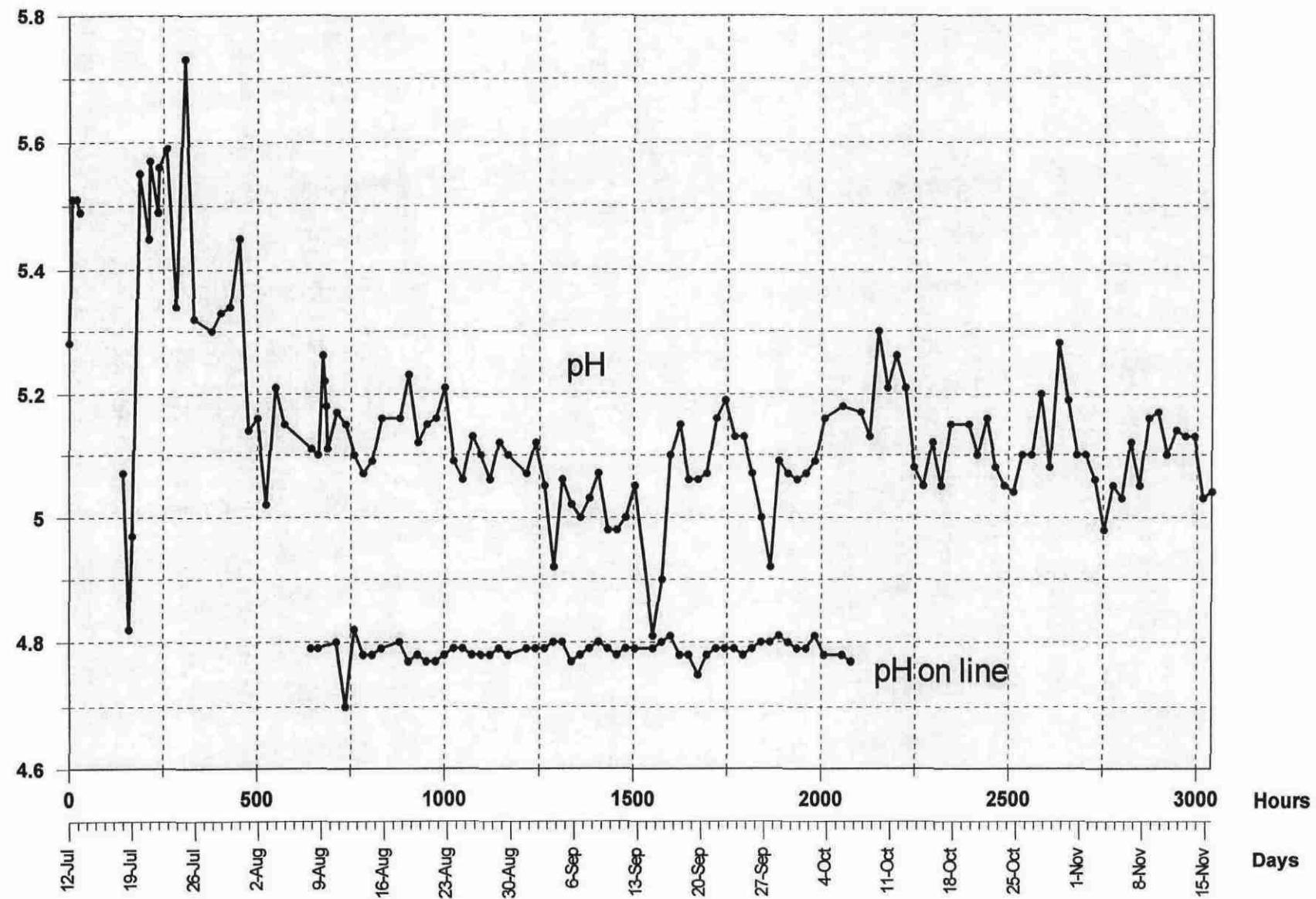
Eh  
mV

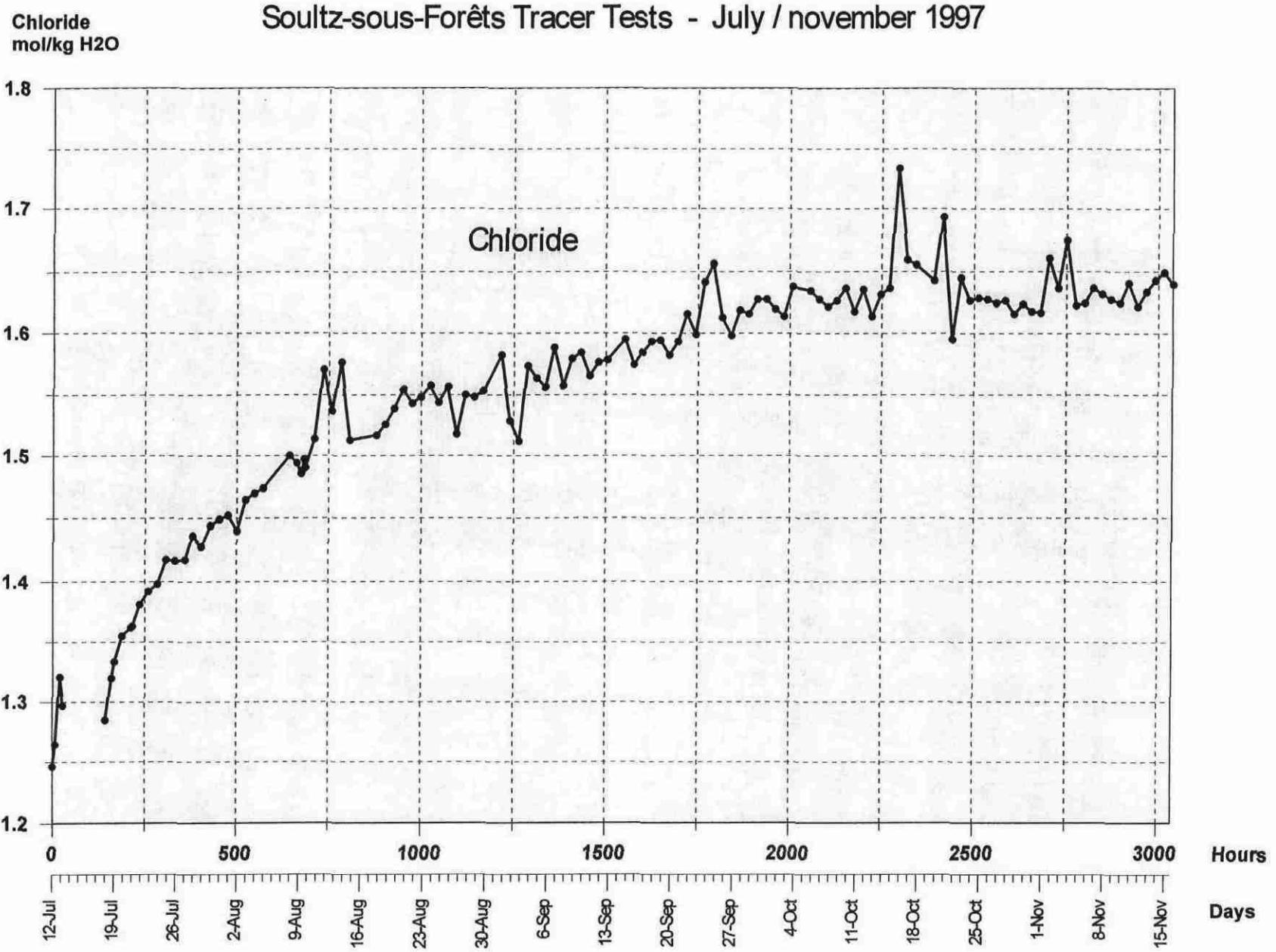
### Soultz-sous-Forêts Tracer Tests - July / november 1997



pH

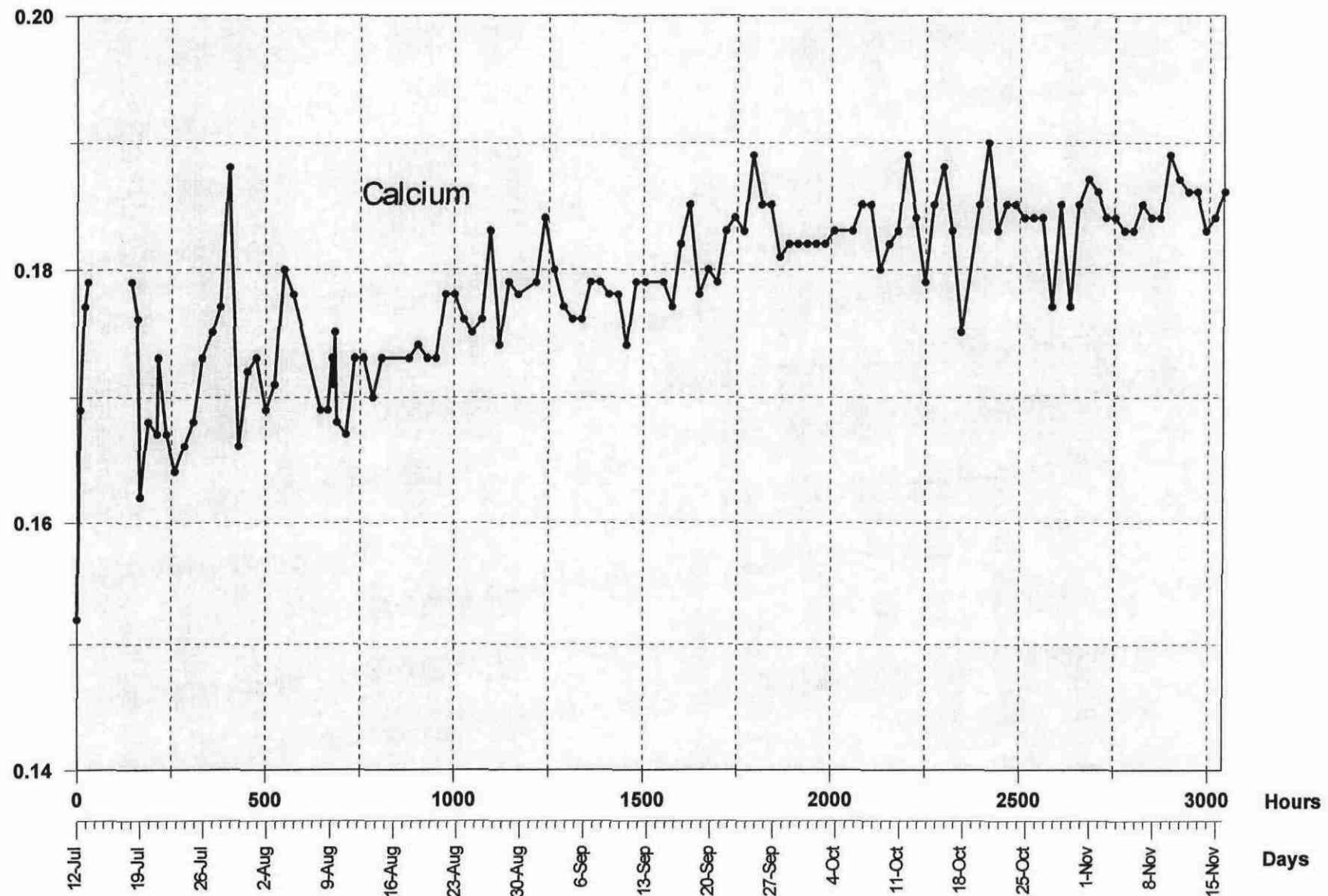
## Soultz-sous-Forêts Tracer Tests - July / november 1997





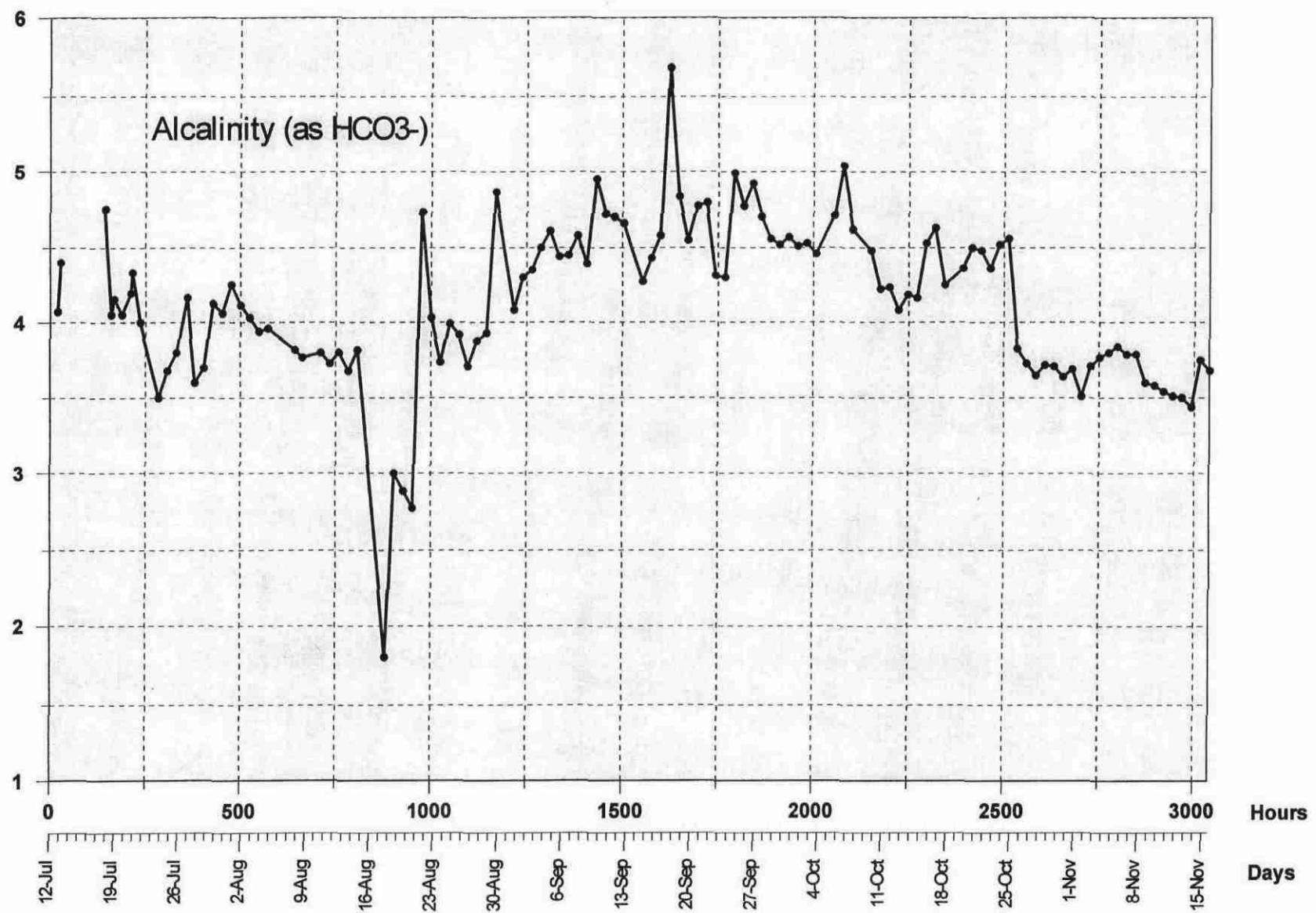
Calcium  
mol/kg H<sub>2</sub>O

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



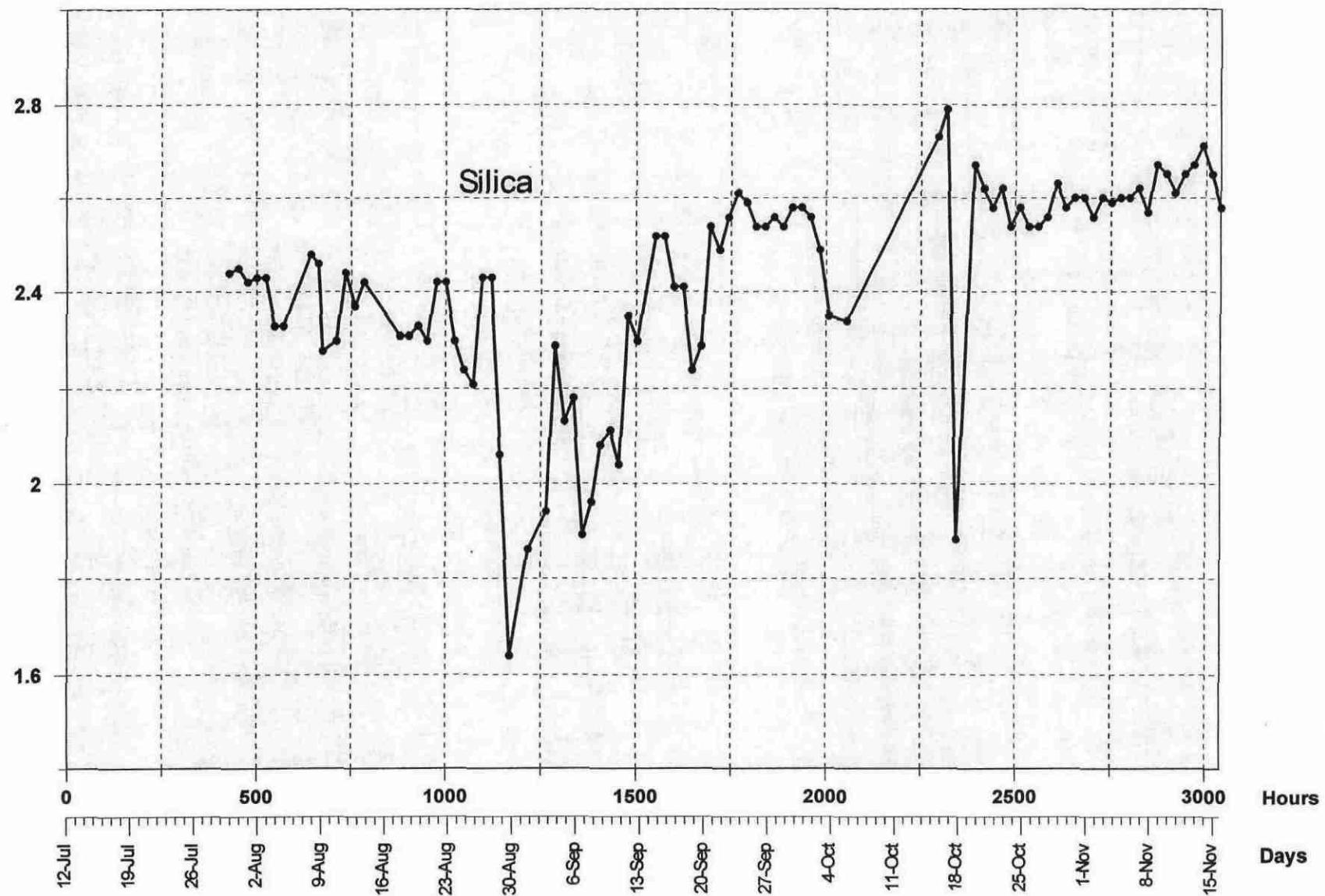
Alkalinity  
mmol/kg H<sub>2</sub>O

### Soultz-sous-Forêts Tracer Tests - July / November 1997



Silica  
mmol/kg H<sub>2</sub>O

### 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<sub>sol</sub>], silice en [mg/l<sub>sol</sub>], alcalinité en [meq/l<sub>sol</sub>]) en une unité commune indépendante de la température et de la pression, la molalité = mole par kilo d'eau = [mol/kg<sub>H2O</sub>].

**Formules de départ (Michard, 1989) :**

$$[\text{mol}_i / \text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}] = \frac{1000 \cdot [\text{mol}_i / \text{kg}_{\text{sol}}]}{1000 - \sum_j M_j \cdot [\text{mol}_j / \text{kg}_{\text{sol}}]} = \frac{1000 \cdot [g_i / \text{kg}_{\text{sol}}]}{\left\{1000 - \sum_j [g_j / \text{kg}_{\text{sol}}]\right\} \cdot M_i}$$

où :  $[\text{mol}_i / \text{kg}_{\text{sol}}] = \frac{[g_i / \text{kg}_{\text{sol}}]}{M_i} = \frac{[\text{mg}_i / l_{\text{sol}}]}{1000 \cdot \rho \cdot M_i} = \frac{[\text{meq}_i / l_{\text{sol}}]}{1000 \cdot \rho}$

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

$\rho$  = densité de la solution  
 $M_i$  = masse molaire du soluté  $i$   
 $\text{mol}_i$  = nombre de moles du soluté  $i$   
 $g_i, \text{mg}_i$  = masse du soluté  $i$   
 $\text{meq}_i$  = nombre de millimoles d'équivalents du soluté  $i$   
 $l_{\text{sol}}$  = 1 litre de solution  
 $\text{kg}_{\text{sol}}$  = 1 kg de solution  
 $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}$  = 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  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ . En négligeant les autres espèces en solution, on a :

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

La condition d'électroneutralité impose que :  $[\text{mol}_{\text{Cl}} / \text{kg}_{\text{sol}}] = [\text{mol}_{\text{Na}} / \text{kg}_{\text{sol}}] + 2 \cdot [\text{mol}_{\text{Ca}} / \text{kg}_{\text{sol}}]$

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

D'où finalement :

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

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 ( $[\text{mg/l}_{\text{sol}}]$ ) 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 ( $T < 300^\circ\text{C}$ ) 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 :  $\rho_{\text{NaCl}} = A + B \cdot T + C \cdot T^2$

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

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

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

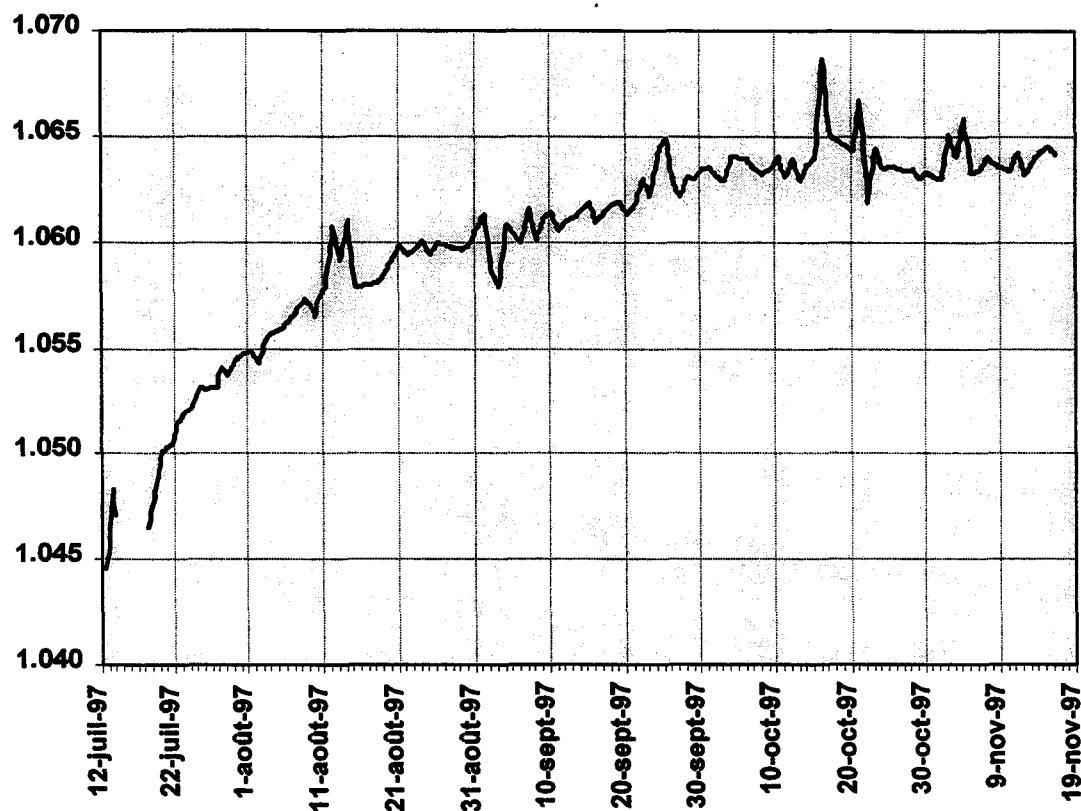
$$\text{et : } \Delta\rho_{\text{ca-Na}} = -5,00 \cdot 10^{-3} + 4,98 \cdot 10^{-5} \cdot T + 1,47 \cdot 10^{-2} \cdot [\text{mol}_{\text{Ca}} / \text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}] - 2,22 \cdot 10^{-5} \cdot T \cdot [\text{mol}_{\text{Ca}} / \text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}]$$

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

Date	Heure	$\rho$ calculée (BRGM)	$\rho$ 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 :

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

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

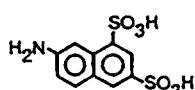
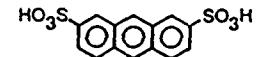
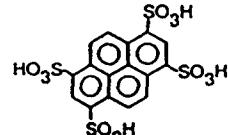
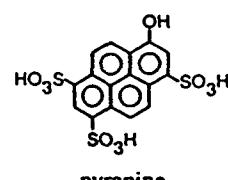
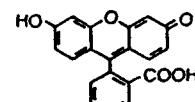
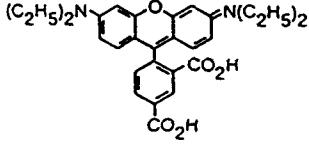
## **Annexes 4**

- 
- 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 =  $20/30 * 60 * 60 * 24 * 120 = 200 \text{ à } 300 \text{ 000 m}^3$ , i.e.  $2 \text{ à } 3 \text{ } 10^8$  litres.

(2) facteur de dilution ( $F_d$ ) = 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 %

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

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

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

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 pourront l'observer (6 mois max.). Le rapport entre la quantité injectée et la concentration maximale du traceur ("taux de dilution"  $F_d$ ) est de l'ordre de  $5 \text{ e } 7$  à  $1 \text{ e } 8$ .

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 10e8.

## 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.

	<b>Fd</b>			
	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 :

$$R = \text{rapport D/H, R standard} = 1.4 \text{ e-4}$$

$$\text{Delta de fluide naturel} = -41 \text{ donc } R_m = 1.343 \text{ e-4}$$

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

$$\begin{array}{ll} 1/ & -36 \text{ donc } R_m = 1.3496 \text{ e-4} \\ \text{é/} & -41 \text{ donc } R_m = 1.357 \text{ e-4} \end{array}$$

La différence de rapport entre le signal naturel et le signal tracé minimum  $\Delta R$  est donc de  $1.4 \text{ e-6}$  à  $6.6 \text{ e-7}$

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  $Q = \Delta R * Fd$

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

	<b>Fd</b>			
	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 :

$$Rm = (N Db + N Ds) / (N Hb + N Hs)$$

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 e7 - 8.9 e6 - 2.2 e6 moles (1.5 e9 - 2 e8 - 5 e7 litres). C'est le paramètre N de l'équation précédente.

$$\text{On a } S = (Rm * N * Hb - N * Db) / (Ds - Rm * Hs)$$

avec	Hb = 99.9852	(on a choisi une eau naturelle avec un delta = 0 et non -41)
	Db = 0.0148	
	Hs = 1	
	Ds = 99	

Pour Rm = Rb + 5 on a Rm = 1.4876 e-4

Pour Rm = Rb + 10 on a Rm = 1.495 e-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 = 2e8	lim = 10, Fd = 2e8	lim = 5, Fd = 1.5e9	lim = 10, Fd = 1.5e9
150 l	300 l	1120 l	2240 l

lim = 5, Fd = 5e7	lim = 10, Fd = 5e7
-------------------	--------------------

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

## mélange

1 l'eau	Quantité D	Quantité H	D/H	delta
1E-09	0.0148001	99.9852	0.000148	0.01
0.00000001	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 ( $\text{pH} > 13$ ). 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 m<sup>3</sup>, 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 m<sup>3</sup>, 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 reprécipitation 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 reprécipitation 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 pourvoir 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 reprécipitation, 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 m<sup>3</sup> au moins ;
- un **système d'agitation**, permettant le mélange efficace de volumes croissant de 1 m<sup>3</sup> à 6 m<sup>3</sup> ;
- une **pompe d'injection** d'un débit suffisamment élevé pour permettre l'injection de 6 m<sup>3</sup> 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 reprécipitation 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'HNO<sub>3</sub>-.
- 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<sup>ème</sup> 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.

N° Echantillon		Date	Heure		h. cum	Deuterium D2O	h. cum	j. cum	Fluorescéine sodique (uranine)						Acide benzoïque			h. cum	Rhodamine WT		h. cum	Acide amino-G		Remarques
					%	BRGM mol/kg	fluor acide	fluor (EGI)	Mesure terrain	BRGM µg/l	BRGM corrigé µg/l	EGI µg/l	EGI2 µg/l	BRGM mg/l	EGI mg/l	rhom.	BRGM µg/l	EGI µg/l	amino	BRGM µg/l	EGI µg/l			
KP3-97-07-1		12/07/97	08:00																					
KP3-97-07-1		12/07/97	12:00																					
KP3-97-07-2		12/07/97	15:00	1.045																				
KP3-97-07-2		12/07/97	20:00	1.045																				
KP3-97-07-3		13/07/97	00:00	1.046																				
KP3-97-07-3		13/07/97	04:00	1.046																				
KP3-97-07-3		13/07/97	08:00	1.047																				
KP3-97-07-4		13/07/97	12:00	1.048																				
KP3-97-07-4	stop 21:30	13/07/97	16:00	1.048																				
KP3-97-07-4		14/07/97	00:00	1.047																				
KP3-97-07-4		14/07/97	04:00	1.047																				
KP3-97-07-4		14/07/97	08:00	1.047																				
KP3-97-07-4		14/07/97	12:00	1.047																				
KP3-97-07-4		14/07/97	16:00	1.047																				
KP3-97-07-4		14/07/97	20:00	1.047																				
KP3-97-07-4		15/07/97	00:00	1.047																				
KP3-97-07-4		15/07/97	04:00	1.047																				
KP3-97-07-4		15/07/97	08:00	1.047																				
KP3-97-07-4		15/07/97	12:00	1.047																				
KP3-97-07-4		15/07/97	16:00	1.047																				
KP3-97-07-4		15/07/97	20:00	1.047																				
KP3-97-07-4		16/07/97	00:00	1.047																				
KP3-97-07-4		16/07/97	04:00	1.047																				
KP3-97-07-4		16/07/97	08:00	1.047																				
KP3-97-07-4		16/07/97	12:00	1.047																				
KP3-97-07-4		16/07/97	16:00	1.047																				
KP3-97-07-4		16/07/97	20:00	1.047																				
KP3-97-07-4		17/07/97	00:00	1.047																				
KP3-97-07-4		17/07/97	04:00	1.047																				
KP3-97-07-4		17/07/97	08:00	1.047																				
KP3-97-07-4		17/07/97	12:00	1.047																				
KP3-97-07-4		17/07/97	16:00	1.047																				
KP3-97-07-4		17/07/97	20:00	1.047																				
KP3-97-07-4		18/07/97	00:00	1.047																				
KP3-97-07-4		18/07/97	04:00	1.047																				
KP3-97-07-4		18/07/97	08:00	1.047																				
KP3-97-07-4		18/07/97	12:00	1.047																				
KP3-97-07-4	restart 11:45	18/07/97	16:00	1.047																				
KP3-97-07-5		18/07/97	20:00	1.047																				
KP3-97-07-5		19/07/97	00:00	1.048																				
KP3-97-07-5		19/07/97	04:00	1.048																				
KP3-97-07-6		19/07/97	08:00	1.048																				
KP3-97-07-6		19/07/97	12:00	1.049																				
KP3-97-07-7		19/07/97	16:00	1.049																				
KP3-97-07-7		20/07/97	00:00	1.05	-256																			
KP3-97-07-7		20/07/97	04:00	1.05	-252																			
KP3-97-07-7		20/07/97	08:00	1.05	-248																			
KP3-97-07-8		20/07/97	11:30	1.05	-244																			
KP3-97-07-9		20/07/97	18:00	1.05	-240																			
KP3-97-07-9		20/07/97	20:00	1.05	-236																			
KP3-97-07-9		21/07/97	00:00	1.05	-232																			
KP3-97-07-9		21/07/97	04:00	1.05	-228																			
KP3-97-07-9		21/07/97	08:00	1.05	-224																			
KP3-97-07-10		21/07/97	11:30	1.05	-220																			
KP3-97-07-11		21/07/97	17:00	1.05	-216																			
KP3-97-07-11		21/07/97	20:00	1.051	-212																			
KP3-97-07-11		22/07/97	00:00	1.051	-208																			
KP3-97-07-11		22/07/97	04:00	1.051	-204																			
KP3-97-07-11		22/07/97	08:00	1.051	-200																			

Annexe 4.7

N° Echantillon	Date	Heure	h. cum	Deuterium D2O ‰ mol/kg	h. cum flu acide (EGI)	j. cum	Fluorescéline sodique (uranine)					Acide benzoïque			h. cum rhod.	Rhodanine			h. cum amino	Acide amino-G		Remarques	
							BRGM µg/l	BRGM µg/kg	BRGM corrigé µg/l µg/kg	EGI µg/l	EGI 2 µg/l	BRGM mg/l	EGI mg/l	BRGM µg/l	EGI µg/l	BRGM µg/kg	EGI µg/kg	BRGM µg/l	EGI µg/l				
Kp3-97-07-12	22/07/97	11:30	1.052	-196																			
Kp3-97-07-13	22/07/97	17:30	1.052	-192																			
	22/07/97	20:00	1.052	-188																			
	23/07/97	00:00	1.052	-184																			
	23/07/97	04:00	1.052	-180																			
	23/07/97	08:00	1.052	-176																			
Kp3-97-07-14	23/07/97	11:30	1.052	-172																			
	23/07/97	16:00	1.052	-168																			
	23/07/97	20:00	1.052	-164																			
	24/07/97	00:00	1.052	-160																			
	24/07/97	04:00	1.052	-156																			
	24/07/97	08:00	1.052	-152																			
Kp3-97-07-15	24/07/97	10:30	1.052	-148																			
	24/07/97	16:00	1.053	-144																			
	24/07/97	20:00	1.053	-140																			
	25/07/97	00:00	1.053	-136																			
	25/07/97	04:00	1.053	-132																			
	25/07/97	08:00	1.053	-128																			
Kp3-97-07-16	25/07/97	11:00	1.053	-124																			
	25/07/97	16:00	1.053	-120																			
17:15 - 19:45	25/07/97	20:00	1.053	-116																			
	26/07/97	00:00	1.053	-112																			
	26/07/97	04:00	1.053	-108																			
	26/07/97	08:00	1.053	-104																			
Kp3-97-07-17	26/07/97	11:00	1.053	-100																			
	26/07/97	16:00	1.053	-96																			
	26/07/97	20:00	1.053	-92																			
	27/07/97	00:00	1.053	-88																			
	27/07/97	04:00	1.053	-84																			
	27/07/97	08:00	1.053	-80																			
	27/07/97	12:00	1.053	-76																			
Kp3-97-07-18	27/07/97	18:00	1.053	-72	-37.9	1.73E-06																	
	27/07/97	20:00	1.053	-68																			
	28/07/97	00:00	1.054	-64																			
	28/07/97	04:00	1.054	-60																			
	28/07/97	08:00	1.054	-56																			
Kp3-97-07-19	28/07/97	11:00	1.054	-52	-38.3	#####																	
	28/07/97	16:00	1.054	-48																			
	28/07/97	20:00	1.054	-44																			
	29/07/97	00:00	1.054	-40																			
	29/07/97	04:00	1.054	-36																			
	29/07/97	08:00	1.054	-32																			
KP3-97-07-20	29/07/97	11:00	1.054	-28																			
	29/07/97	16:00	1.054	-24																			
	29/07/97	20:00	1.054	-20																			
	30/07/97	00:00	1.054	-16																			
	30/07/97	04:00	1.054	-12																			
	30/07/97	08:00	1.055	-8																			
KP3-97-07-21	30/07/97	11:00	1.055	-4	-38	#####																	
	30/07/97	16:00	1.055	0																			
	30/07/97	20:00	1.055	4																			
	31/07/97	00:00	1.055	8																			
	31/07/97	04:00	1.055	12																			
	31/07/97	08:00	1.055	16																			
KP3-97-07-22	31/07/97	11:30	1.055	20	-38	#####																	
	31/07/97	16:00	1.055	24																			
	31/07/97	20:00	1.055	28																			
	01/08/97	00:00	1.055	32																			
	01/08/97	04:00	1.055	36																			
	01/08/97	08:00	1.055	40																			
KP3-97-08-23	01/08/97	12:00	1.055	44	-37.6	6.92E-06	0																
	01/08/97	16:00	1.055	48																			
	01/08/97	20:00	1.055	52																			



N° Echantillon	Date	Heure	h. cum D2O	Deuterium BRGM ‰ mol/kg	h. cum fluo acidé (EGI)	j. cum flu	Fluorescéine sodique (uranine)					Acide benzoïque			h. cum rhod.	Rhodamine			h. cum amino	Acide amino-G			Remarques
							Mesuré terrain µg/l	BRGM µg/kg	BRGM corrigé µg/l	EGI µg/l	EGI 2 µg/l	BRGM mg/l	EGI mg/l	BRGM µg/l	EGI µg/l	BRGM µg/kg	EGI µg/l	BRGM µg/l	EGI µg/l	BRGM µg/kg	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	4.50E-05	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	2.94E-05	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	3.46E-05	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	3.28E-05	356	15												0.97	0.92		
KP3-97-08-75	16/08/97	12:00	1.058	404	-36.2	3.11E-05	360													0.96	0.91		
KP3-97-08-76	16/08/97	16:00	1.058	408		364																	
KP3-97-08-77	16/08/97	20:00	1.058	412		368																	
KP3-97-08-78	17/08/97	00:00	1.058	416		372																	
KP3-97-08-79	17/08/97	04:00	1.058	420		376																	
KP3-97-08-79	17/08/97	08:00	1.058	424		380	16																
KP3-97-08-80	17/08/97	12:00	1.058	428		384																	
KP3-97-08-81	17/08/97	16:00	1.058	432		388														0.99	0.94		
KP3-97-08-82	18/08/97	00:00	1.058	436		392														1.02	0.96		
KP3-97-08-83	18/08/97	04:00	1.058	444		396																	
KP3-97-08-84	18/08/97	08:00	1.058	448	-19.9	3.13E-04	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	5.01E-05	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	1.24E-04	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																	
KP3-97-08-93	19/08/97	20:00	1.059	484		440																	
KP3-97-08-93	20/08/97	00:00	1.059	488		444																	
KP3-97-08-94	20/08/97	04:00	1.059	492		448																	
KP3-97-08-95	20/08/97	08:00	1.059	496	-28.3	1.68E-04	452	19	325	306.8	163	153.9							0.92	0.87			
KP3-97-08-96	20/08/97	12:00	1.059	500		456																	
KP3-97-08-96	20/08/97	16:00	1.059	504		460																	
KP3-97-08-97	21/08/97	00:00	1.06	512	-36.5	2.59E-05	468																
KP3-97-08-98	21/08/97	04:00	1.06	516		472																	
KP3-97-08-99	21/08/97	08:00	1.06	520	-33.9	7.09E-05	476	20	314	296.3	152	143.4							0.91	0.86			
KP3-97-08-100	21/08/97	12:00	1.06	524		480																	
KP3-97-08-101	21/08/97	16:00	1.06	528		484																	
KP3-97-08-102	21/08/97	20:00	1.06	532		488																	
KP3-97-08-103	22/08/97	00:00	1.06	536		492																	
KP3-97-08-104	22/08/97	04:00	1.06	540		496																	
KP3-97-08-105	22/08/97	08:00	1.059	544	-31.7	1.09E-04	500	21	303	286.0	151	142.5							0.92	0.87			
KP3-97-08-106	22/08/97	12:00	1.059	548		504																	
KP3-97-08-107	22/08/97	16:00	1.06	552		508																	
	22/08/97	20:00	1.06	556		512																	



Annexe 4.7

N° Echantillon	Date	Heure	h. cum	Deuterium		h. cum flu acide (EGI)	j. cum flu acide (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	EGI 2	BRGM	EGI	BRGM	EGI	BRGM	EGI		BRGM	EGI		
				%				µg/l	µg/kg	µg/l	µg/kg	µg/l	µg/l	mg/l	mg/kg	µg/l	µg/kg	µg/l	µg/kg	µg/l	µg/l		
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																	
KP3-97-09-174	03/09/97	12:00	1.058	838		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	812	34	185	174.4	95	89.6		283.2	409.2								
KP3-97-09-180	04/09/97	12:00	1.061	860		816																	
KP3-97-09-181	04/09/97	16:00	1.061	864		820																	
KP3-97-09-182	04/09/97	20:00	1.061	868		824																	
KP3-97-09-183	05/09/97	00:00	1.061	872		828																	
KP3-97-09-184	05/09/97	04:00	1.06	876		832																	
KP3-97-09-185	05/09/97	08:00	1.06	880		836		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		840																	
KP3-97-09-187	05/09/97	16:00	1.06	888		844																	
KP3-97-09-188	05/09/97	20:00	1.06	892		848																	
KP3-97-09-189	06/09/97	00:00	1.06	896		852																	
KP3-97-09-190	06/09/97	04:00	1.06	900		856																	
KP3-97-09-191	06/09/97	08:00	1.06	904	-33.8	7.26E-05	860	36	198	186.8	90	84.9		300									
KP3-97-09-192	06/09/97	12:00	1.06	908		864																	
KP3-97-09-193	06/09/97	16:00	1.061	912		868																	
KP3-97-09-194	06/09/97	20:00	1.061	916		872																	
KP3-97-09-195	07/09/97	00:00	1.061	920		876																	
KP3-97-09-196	07/09/97	04:00	1.061	924		880																	
KP3-97-09-197	07/09/97	08:00	1.062	928		884		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		888																	
KP3-97-09-199	07/09/97	16:00	1.061	936		892																	
KP3-97-09-200	07/09/97	20:00	1.061	940		896																	
KP3-97-09-201	08/09/97	00:00	1.061	944		900																	
KP3-97-09-202	08/09/97	04:00	1.06	948		904																	
KP3-97-09-203	08/09/97	08:00	1.06	952	-36.5	2.59E-05	908	38	238	224.5	106	100.0		286.8		0.63	0.59						
KP3-97-09-204	08/09/97	12:00	1.06	956		912																	
KP3-97-09-205	08/09/97	16:00	1.06	960		916																	
KP3-97-09-206	08/09/97	20:00	1.061	964		920																	
KP3-97-09-207	09/09/97	00:00	1.061	968		924																	
KP3-97-09-208	09/09/97	04:00	1.061	972		928																	
KP3-97-09-209	09/09/97	08:00	1.061	976		932		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		936																	
KP3-97-09-211	09/09/97	16:00	1.061	984		940																	
KP3-97-09-212	09/09/97	20:00	1.061	988		944																	
KP3-97-09-213	10/09/97	00:00	1.061	992		948																	
KP3-97-09-214	10/09/97	04:00	1.061	996		952																	
KP3-97-09-215	10/09/97	08:00	1.061	1000	-34.7	5.71E-05	956	40	139	131.0	89	83.9					0.6	0.57					
KP3-97-09-216	10/09/97	12:00	1.061	1004		960																	
KP3-97-09-217	10/09/97	16:00	1.061	1008		964																	
KP3-97-09-218	10/09/97	20:00	1.061	1012		968																	
KP3-97-09-219	11/09/97	00:00	1.061	1016		972																	
KP3-97-09-220	11/09/97	04:00	1.061	1020		976																	
KP3-97-09-221	11/09/97	08:00	1.061	1024		980		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		984																	
KP3-97-09-223	11/09/97	16:00	1.061	1032		988																	
KP3-97-09-224	11/09/97	20:00	1.061	1036		992																	
KP3-97-09-225	12/09/97	00:00	1.061	1040		996																	
KP3-97-09-226	12/09/97	04:00	1.061	1044		1000																	
KP3-97-09-227	12/09/97	08:00	1.061	1048	-35.1	5.01E-05	1004	42	206	194.2	116	109.3		169.4	329.9	0.57	0.54						
KP3-97-09-228	12/09/97	12:00	1.061	1052		1008																	
KP3-97-09-229	12/09/97	16:00	1.061	1056		1012																	
KP3-97-09-230	12/09/97	20:00	1.061	1060		1016																	

N° Echantillon	Date	Heure	h. cum	Deuterium D2O	h. cum flu acidé (EGI)	j. cum flu acidé (EGI)	Fluorescéine sodique (uranine)					Acide benzoïque			h. cum rhod.	Rhodamine			h. cum amino	Acide amino-G		Remarques
							BRGM ‰	BRGM mol/kg	BRGM µg/l	BRGM µg/kg	BRGM corrigé µg/l	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		
KP3-97-09-231	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													
KP3-97-09-236	14/09/97	20:00	1.062	1108					1064													
KP3-97-09-237	15/09/97	00:00	1.062	1112					1068													
KP3-97-09-238	15/09/97	04:00	1.062	1116					1072													
KP3-97-09-239	15/09/97	08:00	1.062	1120	-33.5	7.78E-05			1076	45	176	165.7	87	81.9			162.8		0.52	0.49	0.53	
KP3-97-09-240	15/09/97	12:00	1.062	1124					1080													
KP3-97-09-241	15/09/97	16:00	1.062	1128					1084													
KP3-97-09-242	15/09/97	20:00	1.061	1132					1088													
KP3-97-09-243	16/09/97	00:00	1.061	1136					1092													
KP3-97-09-244	16/09/97	04:00	1.061	1140					1096													
KP3-97-09-245	16/09/97	08:00	1.061	1144					1100	46	162	152.7	84	79.2			166				0.53	
stop 11:00	16/09/97	12:00	1.061	1148					1104													
	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	-35.2	4.84E-05			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	-36.3	2.94E-05			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	-37	1.73E-05			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										Valeur peu sûre
KP3-97-09-276	22/09/97	00:00	1.063	1280					1236		225	211.7										Valeur peu sûre
KP3-97-09-277	22/09/97	04:00	1.063	1284					1240		147	138.3										Valeur peu sûre
KP3-97-09-278	22/09/97	08:00	1.063	1288					1244		150	141.1					150					Valeur peu sûre
KP3-97-09-279	22/09/97	12:00	1.063	1292					1248		153	144.0										Valeur peu sûre
KP3-97-09-280	22/09/97	16:00	1.063	1296					1252		110	103.5										Valeur peu sûre
KP3-97-09-281	22/09/97	20:00	1.063	1300					1256		164	154.3										Valeur peu sûre
KP3-97-09-282	23/09/97	00:00	1.062	1304					1260		119	112.0										Valeur peu sûre
KP3-97-09-283	23/09/97	04:00	1.062	1308					1264		123	116.8					148		0.46	0.43	0.48	Valeur peu sûre
KP3-97-09-284	23/09/97	08:00	1.062	1312	-36.3	2.94E-05			1268	53	141	132.8										Valeur peu sûre



N° Echantillon	Date	Heure	h. cum	Deuterium		h. cum fluo acide (EGI)	j. cum	Fluorescéine sodique (uranine)						Acide benzoïque			h. cum rhod.	Rhodamine			h. cum amino	Acide amino-G			Remarques				
				D2O	% mol/kg			Mesure terrain	BRGM	BRGM corrigé	EGI	EGI 2	BRGM	EGI	BRGM	EGI	EGI	BRGM	EGI	EGI	BRGM	EGI	EGI						
KP3-97-10-348	04/10/97	00:00	1.064	1568			1624	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	1580	66	140	131.6																			
stop 09:15	06/10/97	12:00	1.064	1628			1584																						
restart 18:00	08/10/97	16:00	1.064	1632			1588																						
KP3-97-10-357	08/10/97	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																			
	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	1628	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			1638																						
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																			
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																
KP4-97-10-63	10/10/97	00:00	1.064	1712			1668	122	114.7	61	57.3	93	87.4																
KP4-97-10-64	10/10/97	04:00	1.064	1716			1672	102	95.9	66	62.0	98	92.1																
KP4-97-10-65	10/10/97	08:30	1.064	1720	-37	1.73E-05	1676	70	113	106.2	66	62.0	98	92.1	147.2														
KP4-97-10-66	10/10/97	12:15	1.064	1724			1680	85	79.9	65	61.1	97	91.2																
KP4-97-10-67	10/10/97	16:15	1.064	1728			1684	87	81.8	90	84.6	122	114.7																
KP4-97-10-68	10/10/97	20:00	1.064	1732			1688	84	79.0	67	63.0	99	93.1																
KP4-97-10-69	11/10/97	00:00	1.063	1736			1692	88	82.8	65	61.1	97	91.2																
KP4-97-10-70	11/10/97	04:00	1.063	1740			1696	74	69.6	64	60.2	96	90.3																
KP4-97-10-71	11/10/97	08:15	1.063	1744	-36.9	1.90E-05	1700	71	115	108.2	63	59.3	95	89.4	134	213.6	0.37	0.35	0.35	40	0.5	0.47	3.76						
KP4-97-10-72	11/10/97	12:15	1.063	1748			1704	105	98.8	65	61.1	97	91.2																
KP4-97-10-73	11/10/97	16:15	1.063	1752			1708	83	78.1	68	64.0	100	94.0																
KP4-97-10-74	11/10/97	20:00	1.064	1756			1712	99	93.1	64	60.2	96	90.3																
KP4-97-10-75	12/10/97	00:00	1.064	1760			1716	103	98.8	63	59.2	95	89.3																
KP4-97-10-76	12/10/97	04:00	1.064	1764			1720	116	109.0	64	60.2	96	90.2																
KP4-97-10-77	12/10/97	08:15	1.064	1768	-35.9	3.63E-05	1724	72	104	97.8	63	59.2	95	89.3	118														
KP4-97-10-78	12/10/97	12:15	1.064	1772			1728	84	79.0	62	58.3	94	88.4																
KP4-97-10-79	12/10/97	16:00	1.064	1776			1732	79	74.3	59	55.5	91	85.6																
KP4-97-10-80	12/10/97	20:00	1.063	1780			1736	104	97.8	60	56.4	92	88.5																
KP4-97-10-81	13/10/97	00:00	1.063	1784			1740	99	93.1	61	57.4	93	87.6																
KP4-97-10-82	13/10/97	04:00	1.063	1788			1744	97	91.3	58	54.6	90	84.7																
KP4-97-10-83	13/10/97	08:00	1.063	1792	-37.4	1.04E-05	1748	73	84	79.0	58	54.6	90	84.7	136		0.35	0.33	0.34	88	0.9	0.847	3.68						
KP4-97-10-84	13/10/97	12:15	1.063	1796			1752	11																					

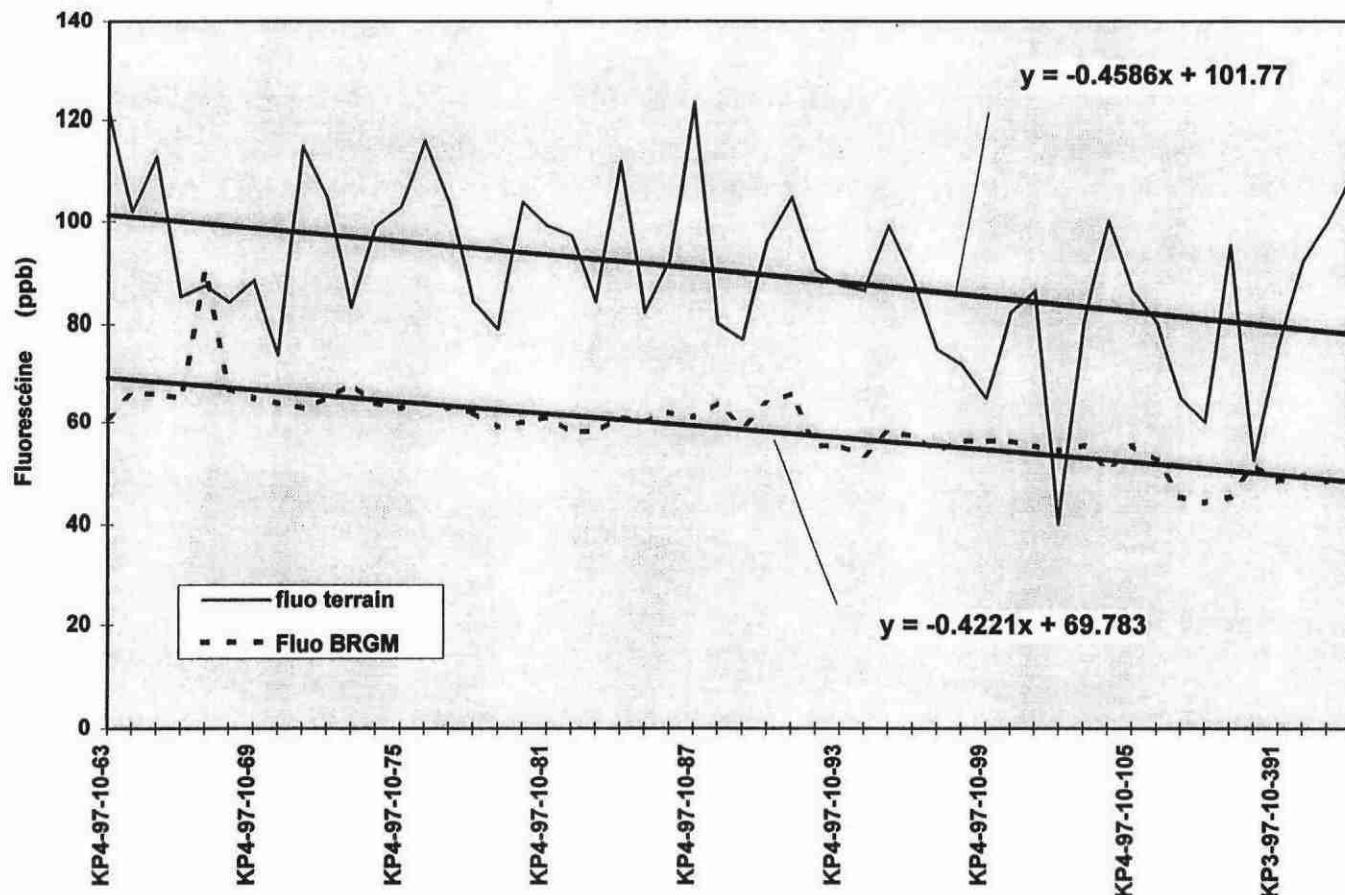
N° Echantillon	Date	Heure	h. cum D2O	Deuterium		h. cum flu acidé (EGI)	j. cum BRGM mol/kg	Fluorescéine sodique (uranine)						Acide benzoïque			h. cum rhod.	Rhodamine		h. cum amino	Acide amino-G		Remarques			
				BRGM	flu acidé (EGI)			Mesure terrain	BRGM µg/l	BRGM corrigé µg/l	EGI	EGI 2 µg/l	BRGM mg/l	BRGM µg/kg	EGI mg/l	EGI µg/l		BRGM	EGI		BRGM µg/l	EGI µg/kg				
KP4-97-10-90	14/10/97	12:00	1.064	1820		1776		96	90.3	64	60.2	86	90.3				116	4.4	4.137							
KP4-97-10-91	14/10/97	16:00	1.064	1824		1780		105	98.7	66	82.0	98	92.1				120	4.6	4.324							
KP4-97-10-92	14/10/97	20:00	1.064	1828		1784		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		1788		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		1792		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		1796	75	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		1800		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		1804		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		1808		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		1812		65	60.9	58	52.5	88	82.5				152	4.29	4.022							
KP4-97-10-100	16/10/97	04:00	1.068	1860		1816		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		1820	76	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		1824		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		1828		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		1832		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		1836		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		1840		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	-35.1	3.28E-05	1844	77	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 prélevements effectués en doublet au point KP4		
KP4-97-10-108	17/10/97	12:00	1.065	1892		1848		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		1852		95	69.2	45	42.3	77	72.3				192	12.18	11.43							
KP3-97-10-390	17/10/97	20:00	1.065	1900		1856		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		1860		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		1864		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		1868	78	100	93.9	48	45.1	80	75.1	119			208	6.02	5.657	5.48	Kp4-97-10-113					
KP3-97-10-394	18/10/97	12:00	1.065	1916		1872		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		1876		85	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		1880		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		1884		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		1888	79	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		1892	79	148	139.0	51	47.9	83	78.0				232				Kp4-97-10-119	Valeur peu s				
KP3-97-10-400	19/10/97	12:00	1.065	1940		1896		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		1900				44	41.3	76	71.4				240	14.13	13.28		Kp4-97-10-121					
KP3-97-10-402	19/10/97	20:00	1.064	1948		1904				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		1908				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		1912				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	1916	80			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		1920				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		1924				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		1928				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		1932				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		1936				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	1940	81			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		1944				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		1948											288				Kp4-97-10-133					
KP3-97-10-414	21/10/97	20:00	1.064	1996		1952				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		1956				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		1960				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		1964	82			46	43.3	78	73.5	144.2			304	18.45	17.37	26.64	Kp4-97-10-137					
KP3-97-10-418	22/10/97	12:00	1.062	2012		1968											308				Kp4-97-10-138					
KP3-97-10-419	22/10/97	16:00	1.063	2016		1972				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		1976				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		1980				35	32.9	67	63.0													

N° Echantillon	Date	Heure	h. cum D2O	Deuterium		h. cum fluo acide (EGI)	Fluorescène sodique (uranine)					Acide benzoïque			h. cum rhod.	Rhodamine		h. cum amino	Acide amino-G		Remarques	
				BRGM ‰ mol/kg			BRGM 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/l	BRGM µg/l	EGI µg/l	BRGM µg/l	EGI µg/l			
				BRGM ‰ mol/kg	fluo acide (EGI)		µg/l	µg/kg	µg/l	µg/kg	µg/l	mg/l	mg/kg	µg/l	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	2036	85	44	41.4	76	71.5	123.9			376	5.8	5.453	17.08	40	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
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	2084	87	45	42.3	77	72.4	125.8			424	10.2	9.592	19.24	88	0	0
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
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	2132	89	40	37.6	72	67.7	114.4			472	6.3	5.927	18.2	136	27.2	25.59
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				496	12.1	11.38		160	34.6	32.54
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		
KP3-97-10-470	31/10/97	05:00	1.063	2220			2176									516				180		
KP3-97-10-471 = 14:15	31/10/97	09:00	1.063	2224	-36.4	2.77E-05	2180	91	46	43.3	78	73.4				520	6.8	6.396		184	41.9	39.41
KP3-97-10-472 = 15:00	31/10/97	13:00	1.063	2228			2184		44	41.4	76	71.5				524	7	6.585		188	31.6	29.72
KP3-97-10-473	31/10/97	17:00	1.063	2232			2188		44	41.4	76	71.5				528	6	5.644		192	39.9	37.54
KP3-97-10-474	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
KP3-97-11-475	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
KP3-97-11-476	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
KP3-97-11-477	01/11/97	09:00	1.063	2248			2204	92	42	39.5	74	69.6				544	5.4	5.08		208	37.6	35.37
KP3-97-11-478	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
KP3-97-11-479	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
KP3-97-11-480	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
KP3-97-11-481	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
KP3-97-11-482	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
KP3-97-11-483	02/11/97	09:00	1.065	2272			2228	93	35	32.9	67	62.9				568	5.1	4.788		232	24.1	22.63
KP3-97-11-484	02/11/97	13:00	1.065	2276			2232									572				236	23.9	22.44
KP3-97-11-485	02/11/97	17:00	1.065	2280			2236		40	37.6	72	67.6				576	4.9	4.602		240		

N° Echantillon	Date	Heure	h. cum D2O	Deuterium BRGM ‰	h. cum flu acidé (EGI)	j. cum flu acidé (EGI)	Fluorescéine sodique (uranine)					Acide benzoïque			h. cum rhod.	Rhodamine			h. cum amino	Acide amino-G		Remarques			
							Mesure terrain µg/l	BRGM µg/kg	BRGM corrigé µg/l	EGI µg/l	EGI 2 µg/l	BRGM mg/l	EGI mg/kg	EGI mg/l		101	100	107		BRGM µg/l	EGI µg/kg				
KP3-97-11-496	04/11/97	13:00	1.065	2324		2280		41	38.5	73	68.5				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				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			0.28			736	9.2	8.85	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	75.56				
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	9.588		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	71	66.77				
KP3-97-11-543	12/11/97	09:00	1.063	2512	-36.4	2.77E-05	2468	103	38	35.7	70	65.8	109.9		0.29	0.27	0.26	808	4.6	4.327	15.92	472	61.4	57.75	60.55
KP3-97-11-544	12/11/97	13:00	1.063	2516		2472		40	37.6	72	67.7				812	6.3	5.925		476	57.4	53.98				
KP3-97-11-545	12/11/97	17:00	1.063	2520		2476		37	34.8	69	64.9				816	5.3	4.984		480	57.9	54.45				
KP3-97-11-546	12/11/97	21:00	1.064	2524		2480		39	36.7	71	66.8				820	9.5	8.933		484	61.7	58.02				
KP3-97-11-547	13/11/97	01:00	1.064	2528		2484		40	37.6	72	67.7				824	9.2	8.65		488	66.6	62.62				

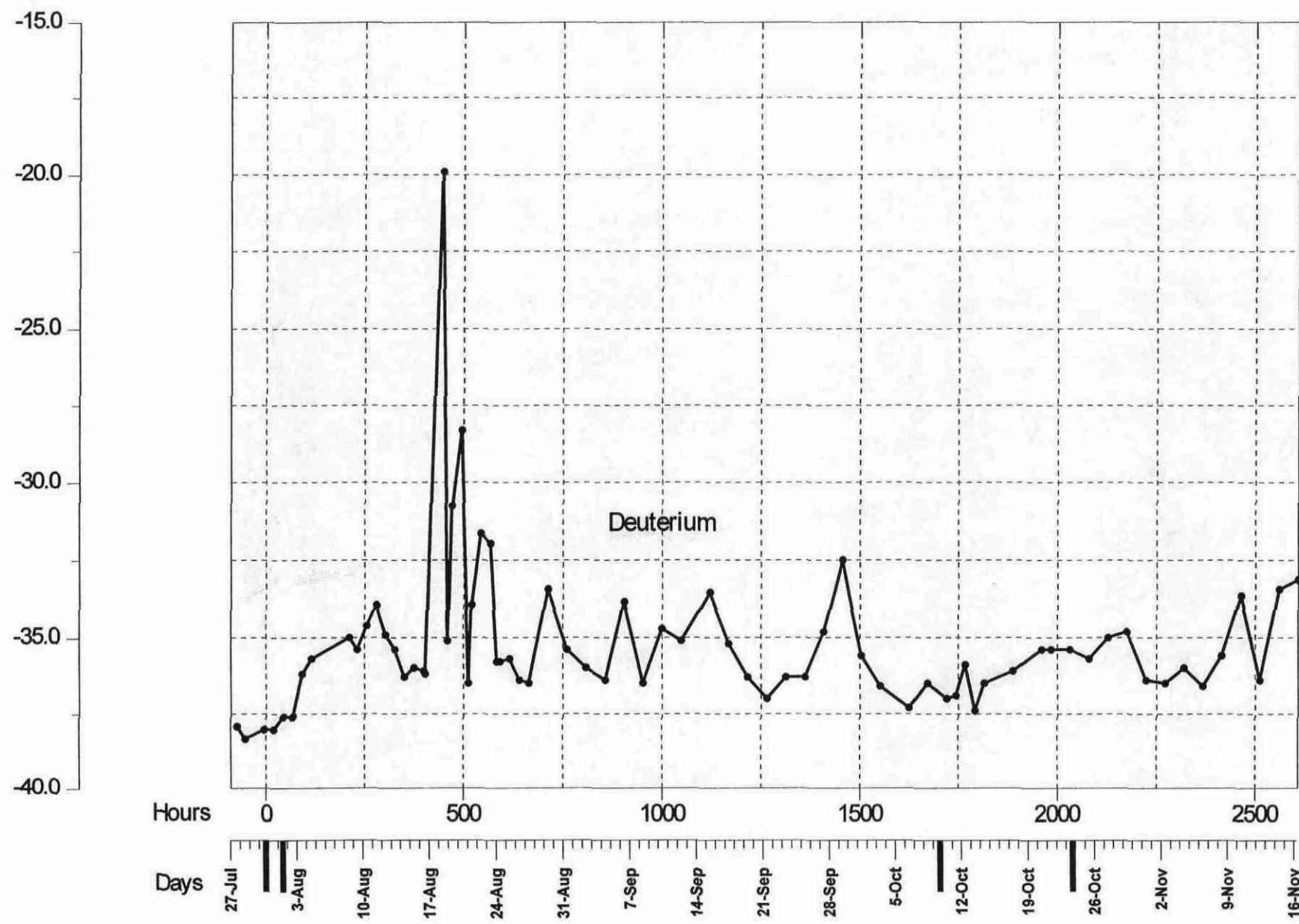
N° Echantillon	Date	Heure	h. cum D2O	Deuterium		h. cum fluo acide (EGI) µg/l	j. cum flu acide (EGI) µg/l	Fluorescéine sodique (uranine)						Acide benzoïque			h. cum rhod. µg/l	Rhodamine			h. cum amino µg/l	Acide amino-G		Remarques				
				BRGM ‰				Mesure terrain			BRGM		BRGM corrigé		EGI		EGI 2		BRGM		EGI			BRGM				
				mol/kg	µg/kg			µg/l	µg/kg	µg/l	µg/kg	µg/l	µg/kg	µg/l	µg/kg	µg/l	µg/kg	µg/l	µg/kg	µg/l	µg/kg	µg/l	µg/kg	µg/l	µg/kg			
KP3-97-11-559	15/11/97	01:00	1.064	2576		2532				38	35.7	70	65.8						672	6.3	5.919		536	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					904	7.5	7.048		568	44.1	41.44	60.29		

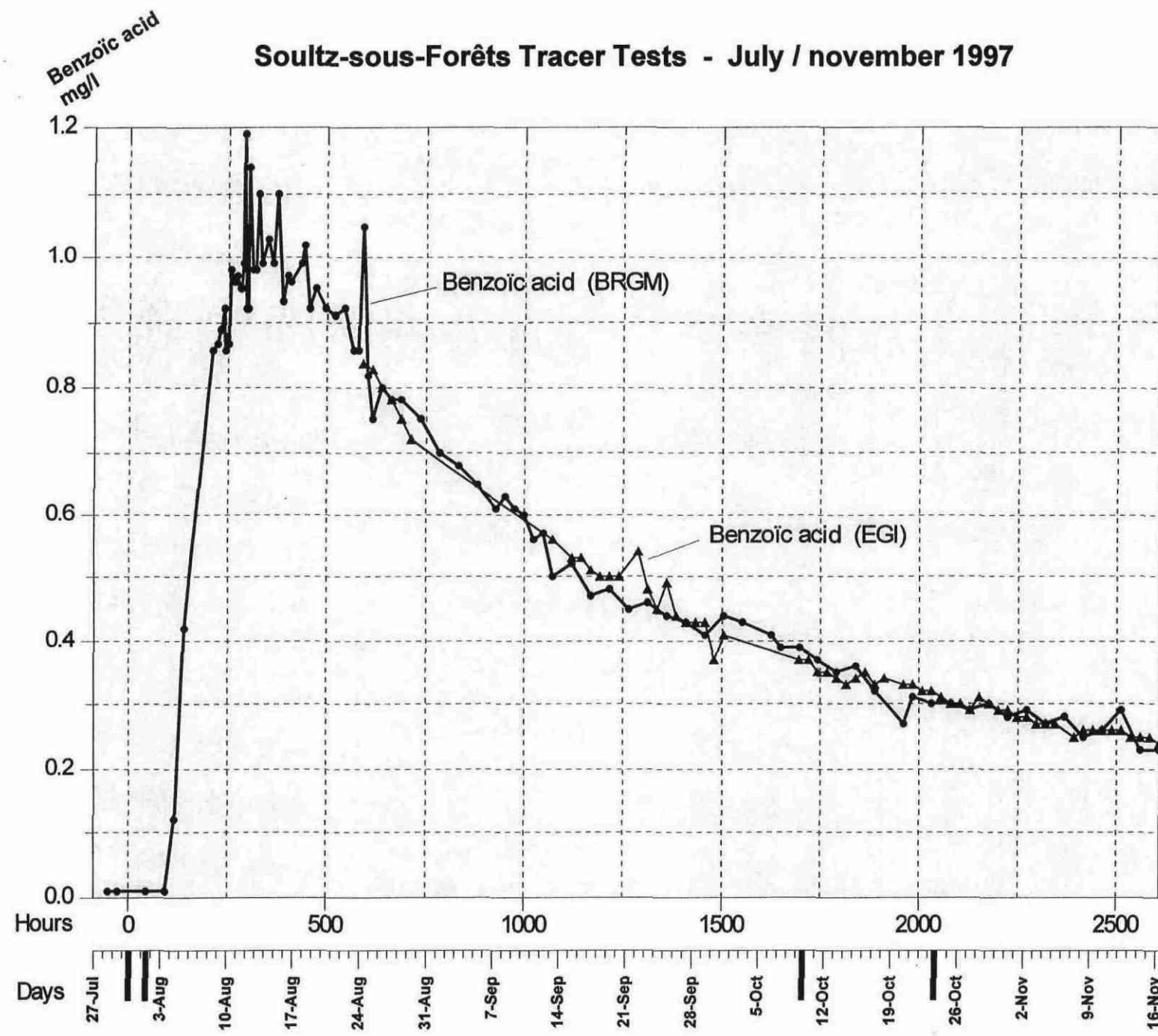
**Ecart systématique entre les analyses de fluorescéine  
sur le terrain et les analyses au laboratoire du BRGM**



Deuterium  
‰

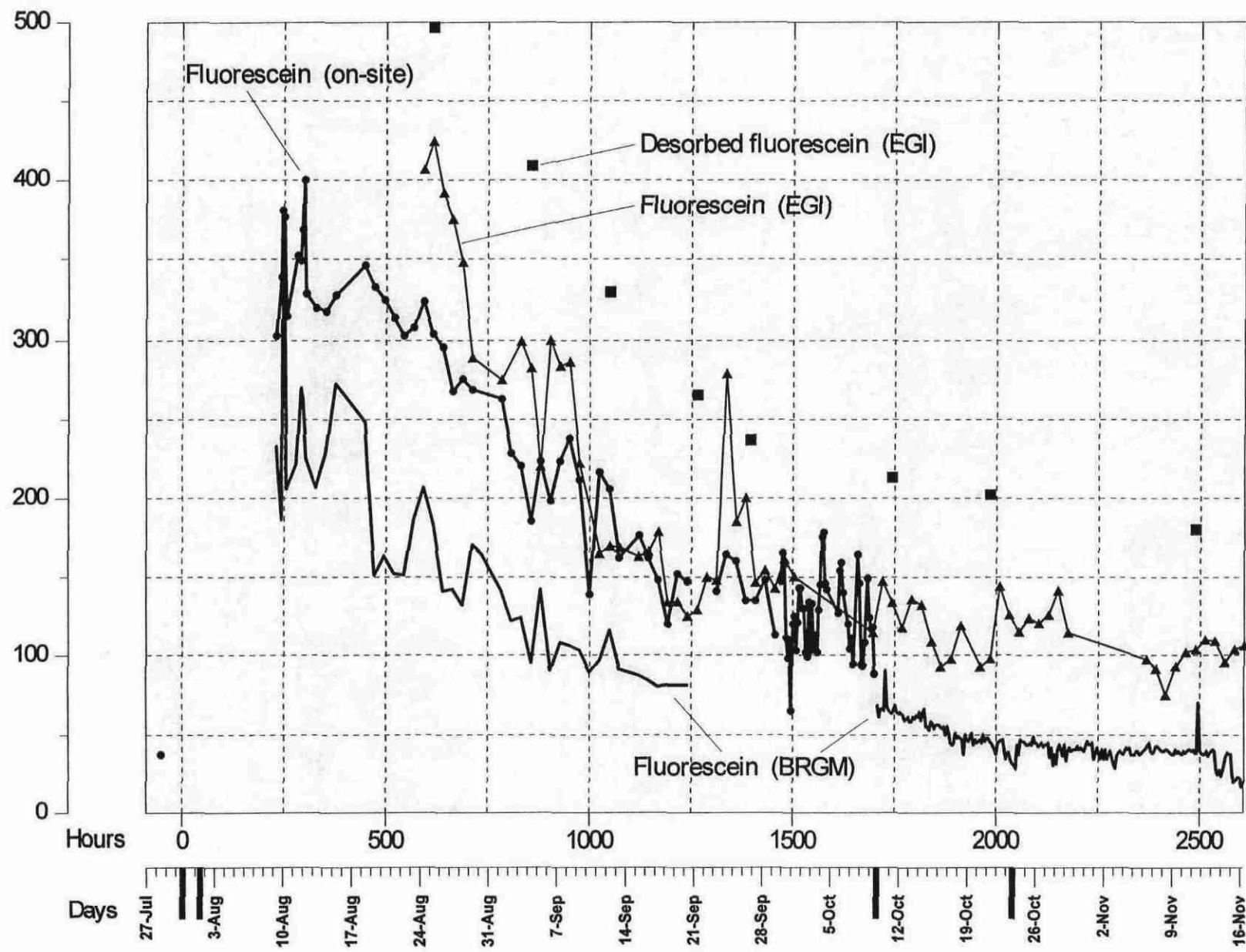
### Soultz-sous-Forêts Tracer Tests - July / November 1997



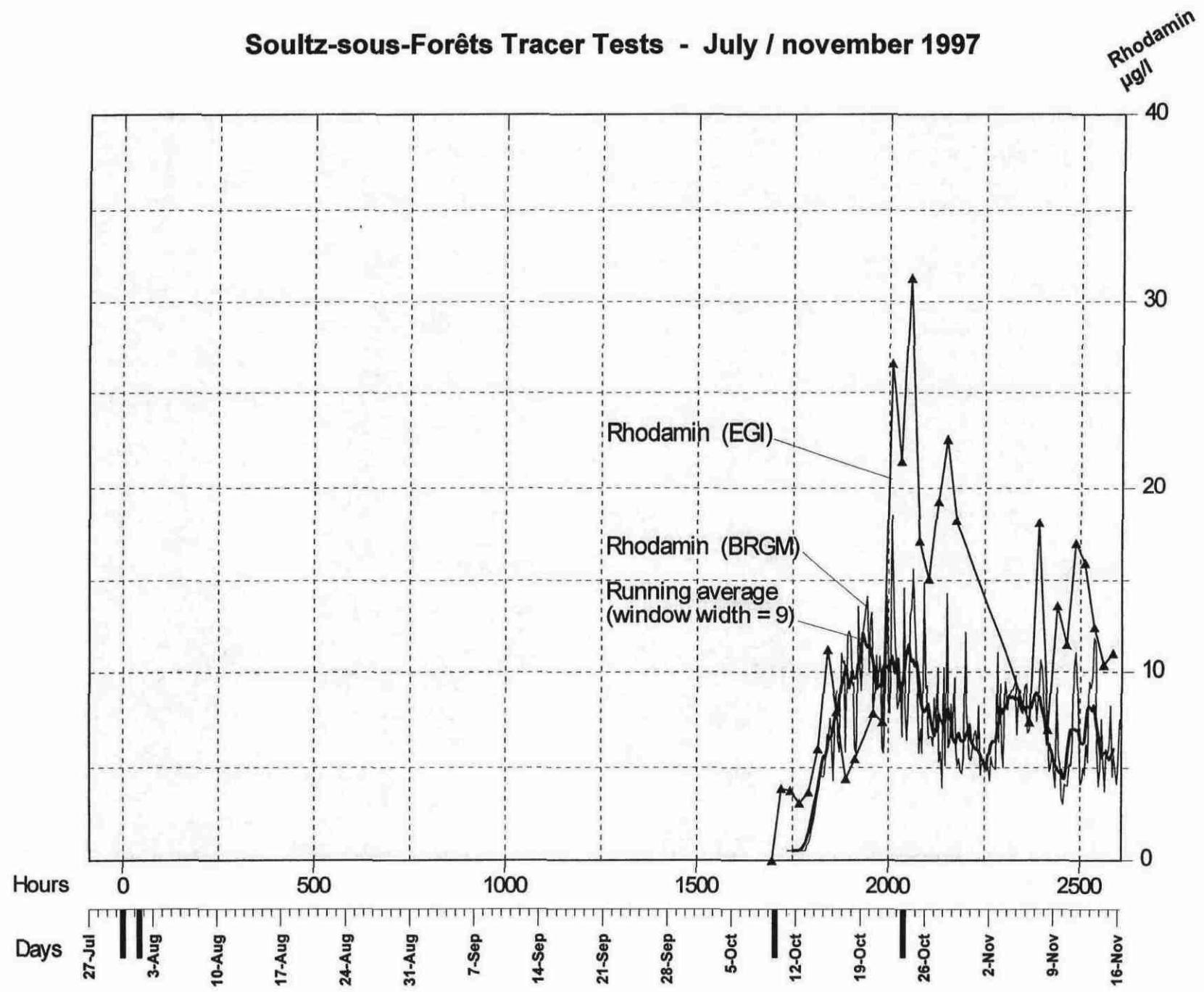


Fluorescein  
µg/l

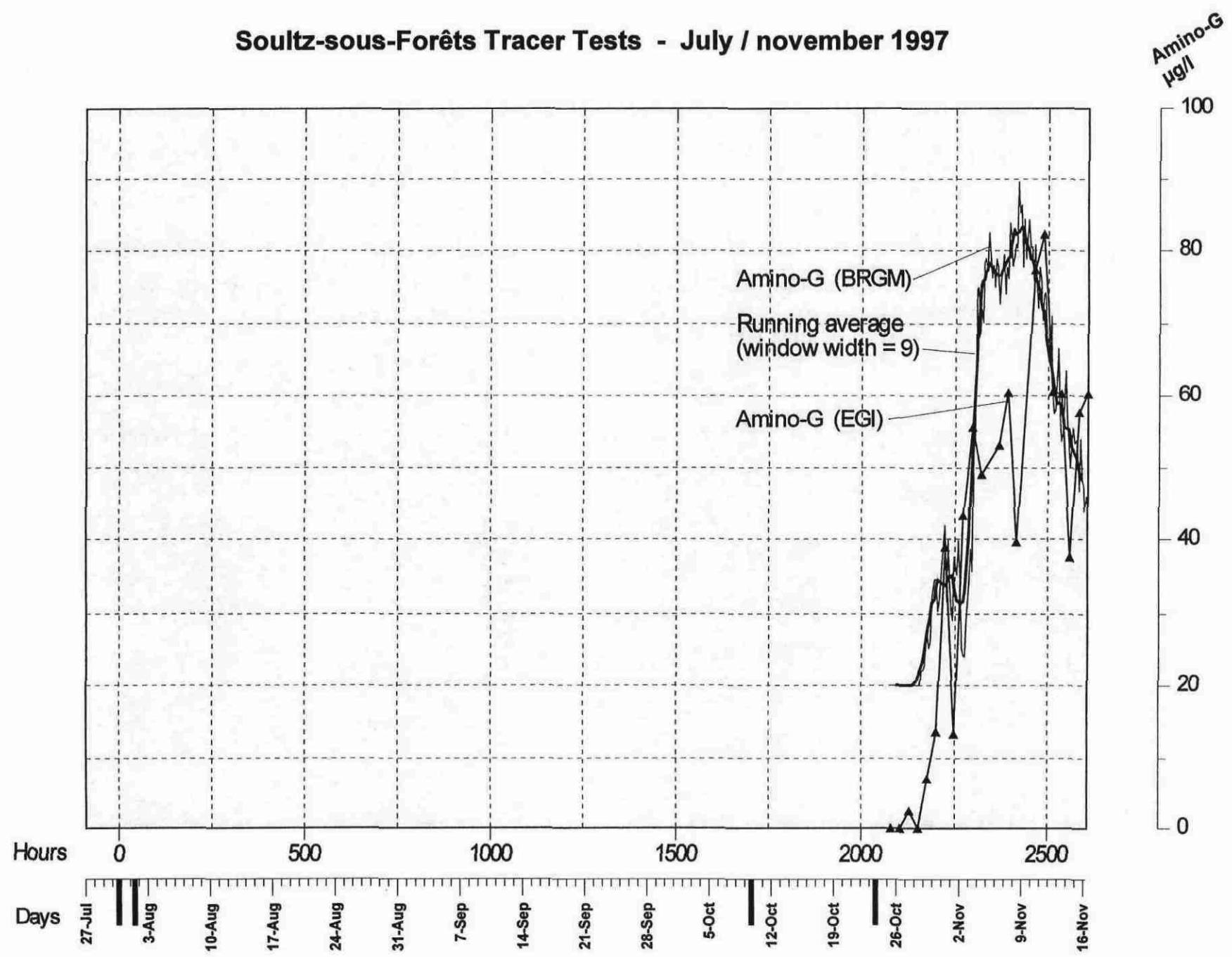
### Soultz-sous-Forêts Tracer Tests - July / November 1997

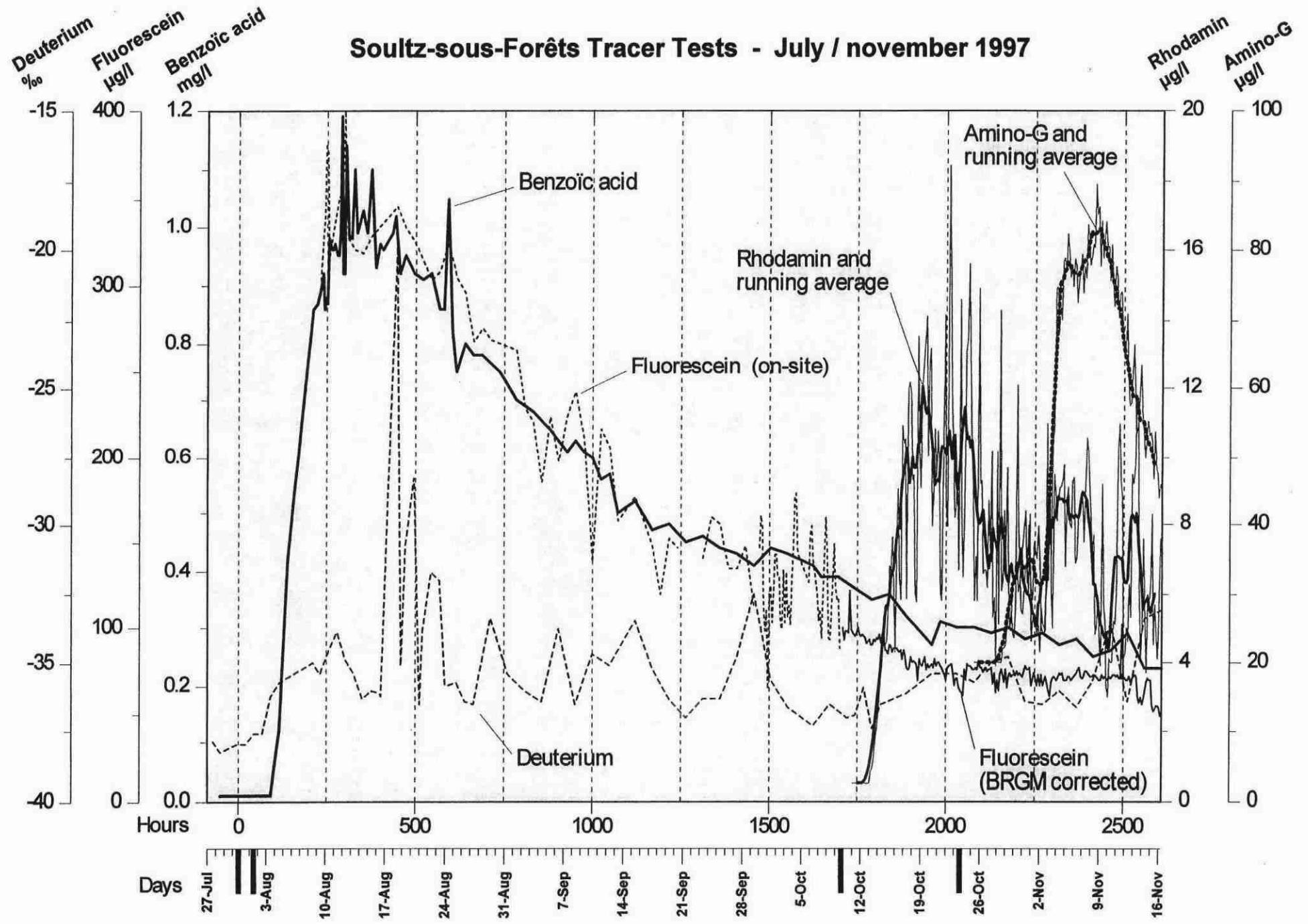


## Soultz-sous-Forêts Tracer Tests - July / November 1997

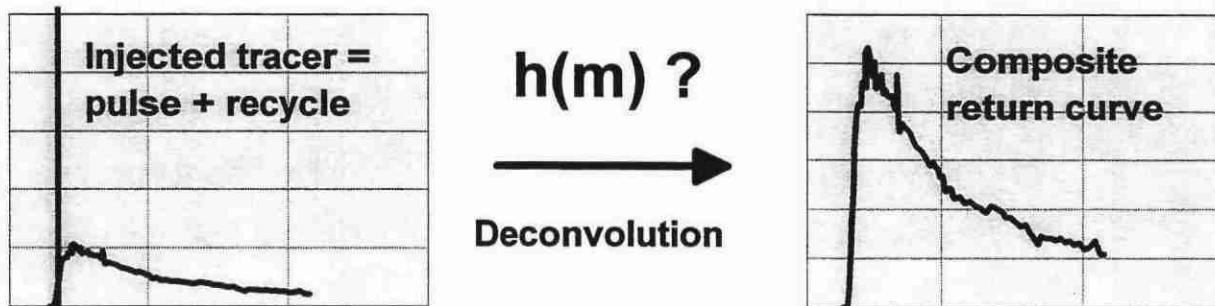


## Soultz-sous-Forêts Tracer Tests - July / November 1997

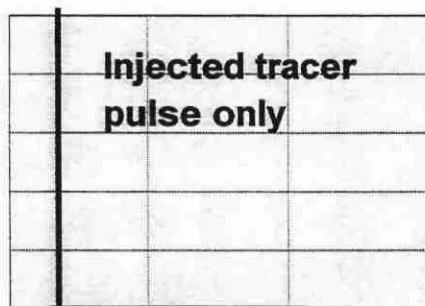
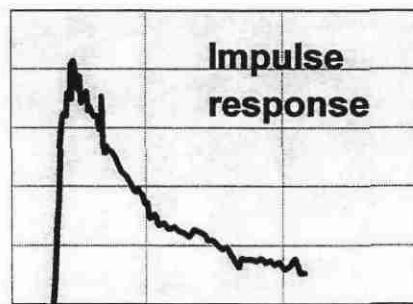




# Correction for recycle

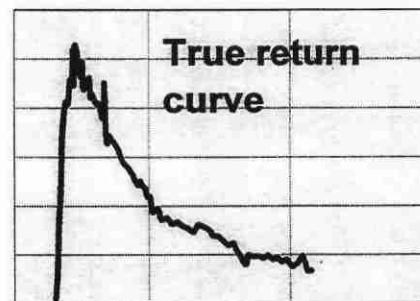


**$h(m) =$**

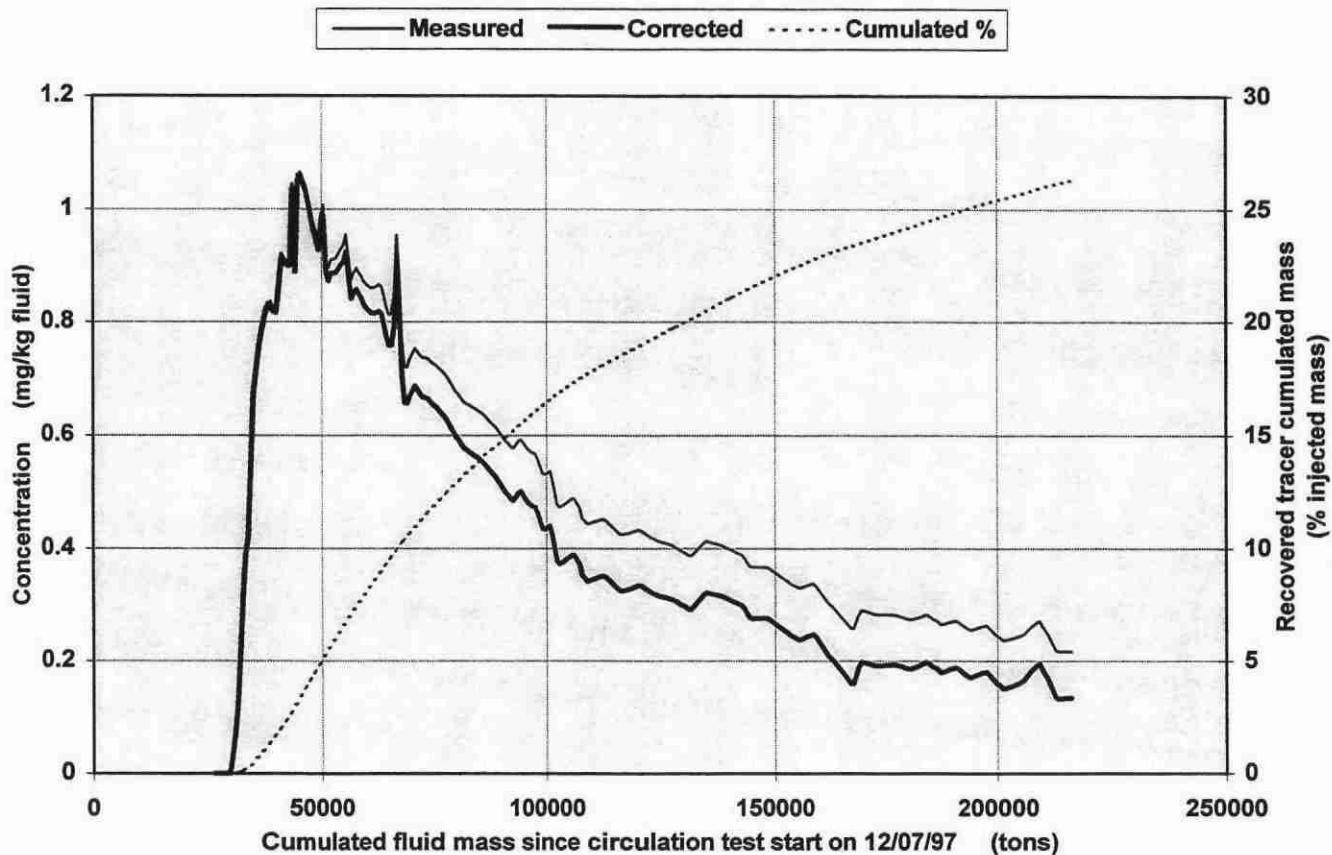


**\*  $h(m)$**

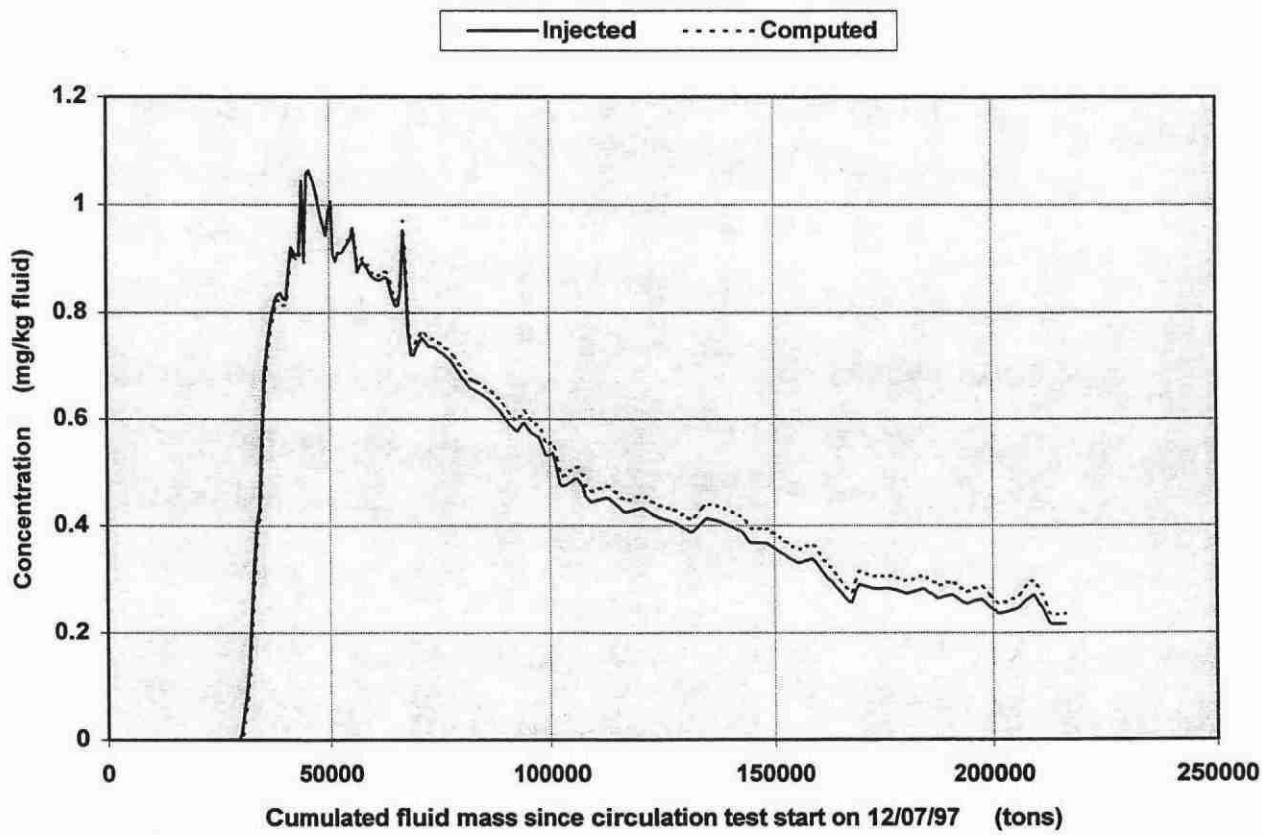
Convolution



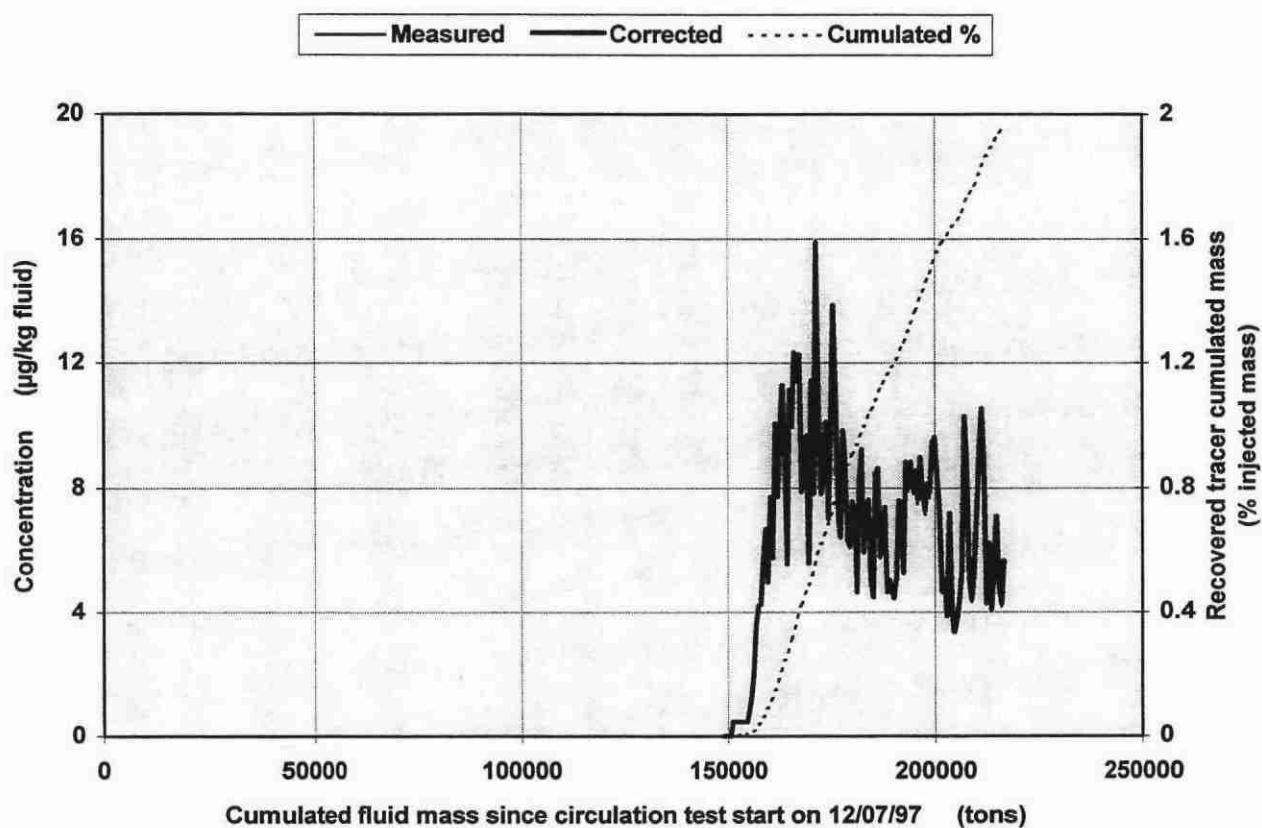
### Benzoïc acid : correction for recycle



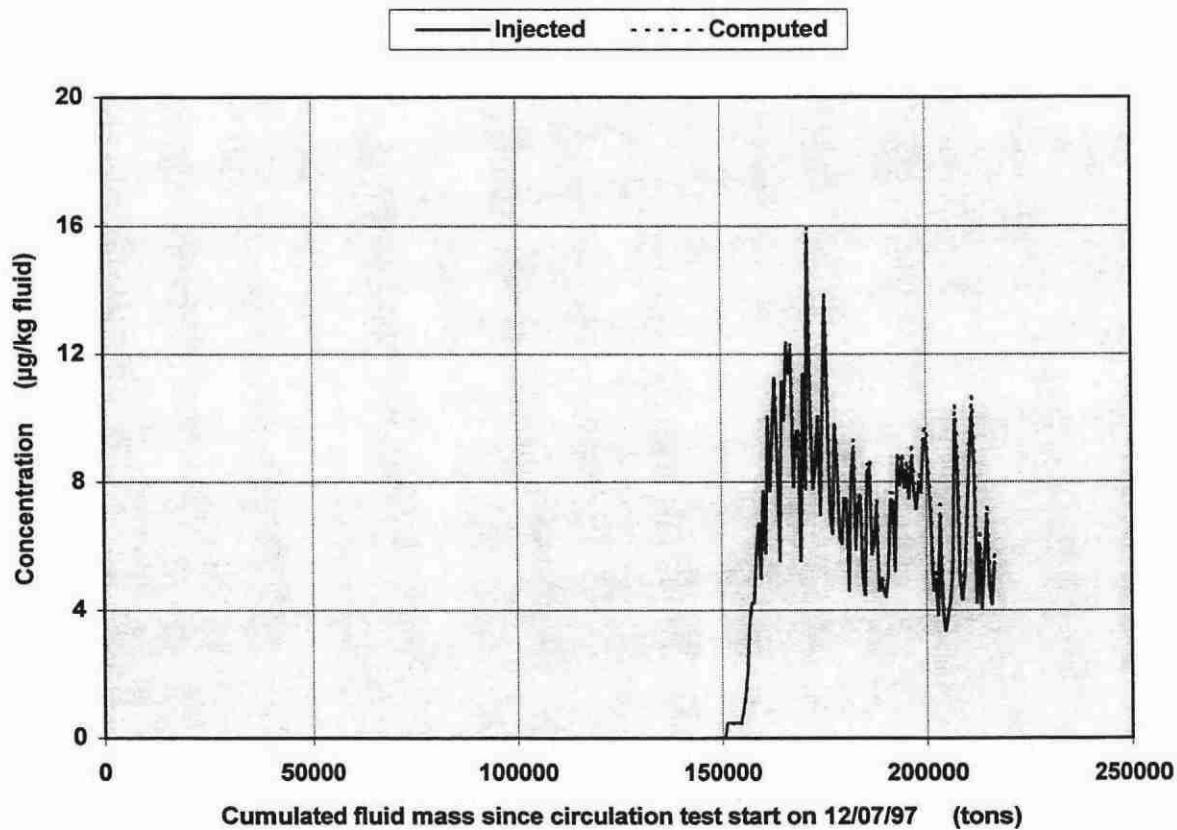
### Benzoïc acid : model fit



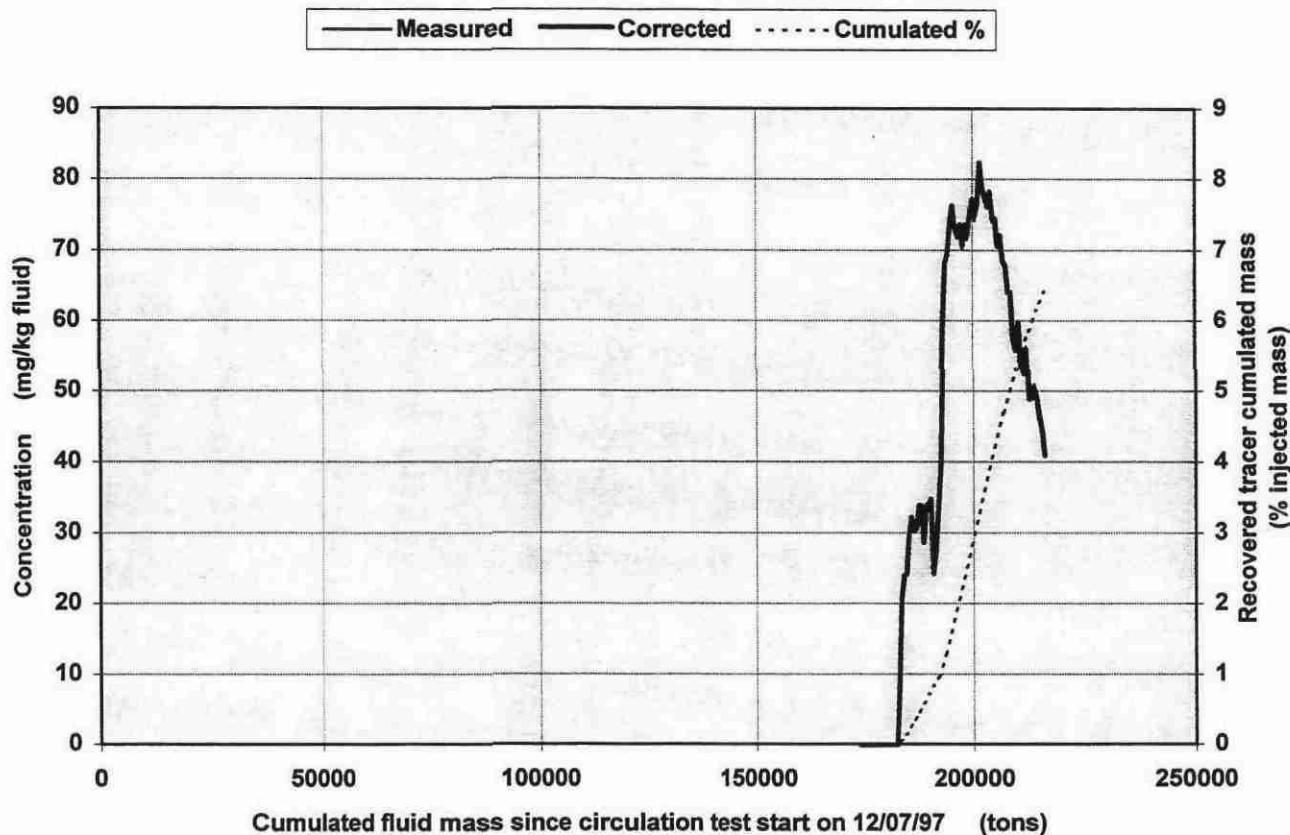
### Rhodamin : correction for recycle



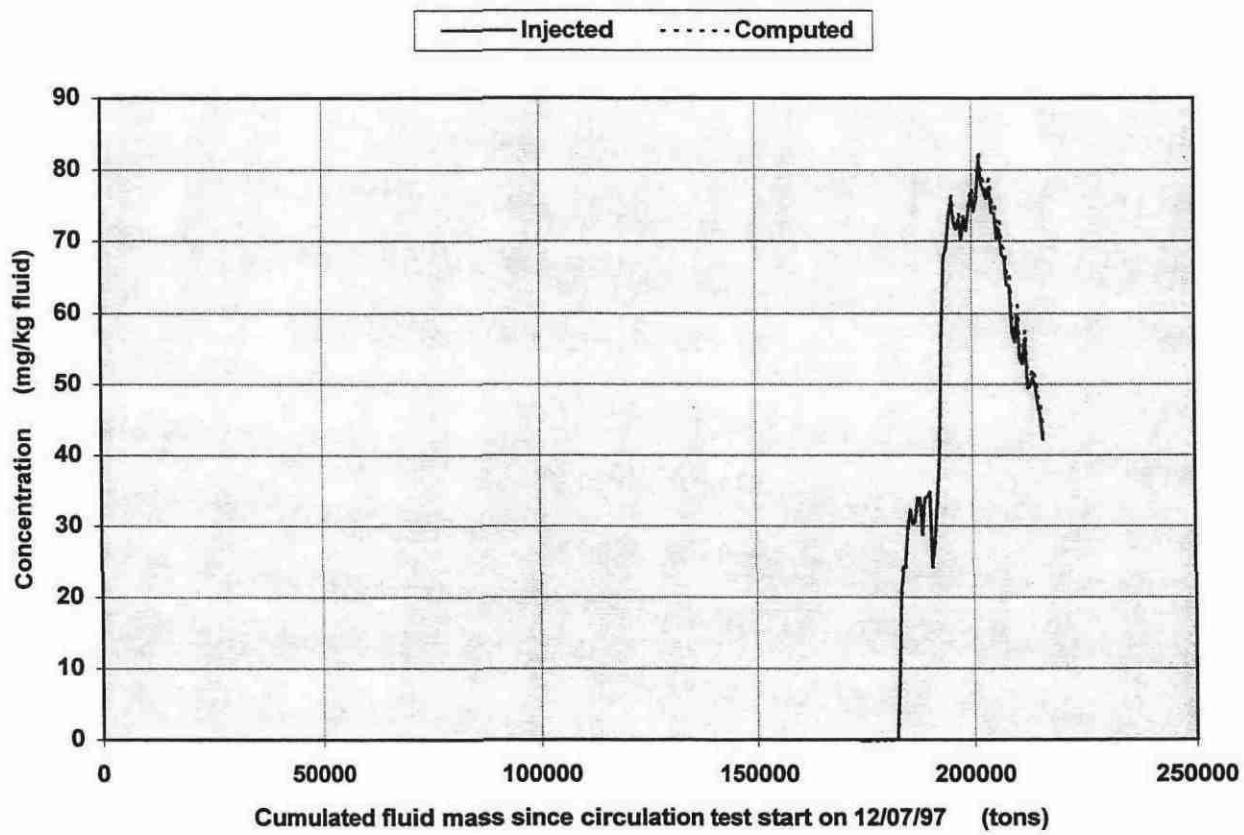
### Rhodamin : model fit



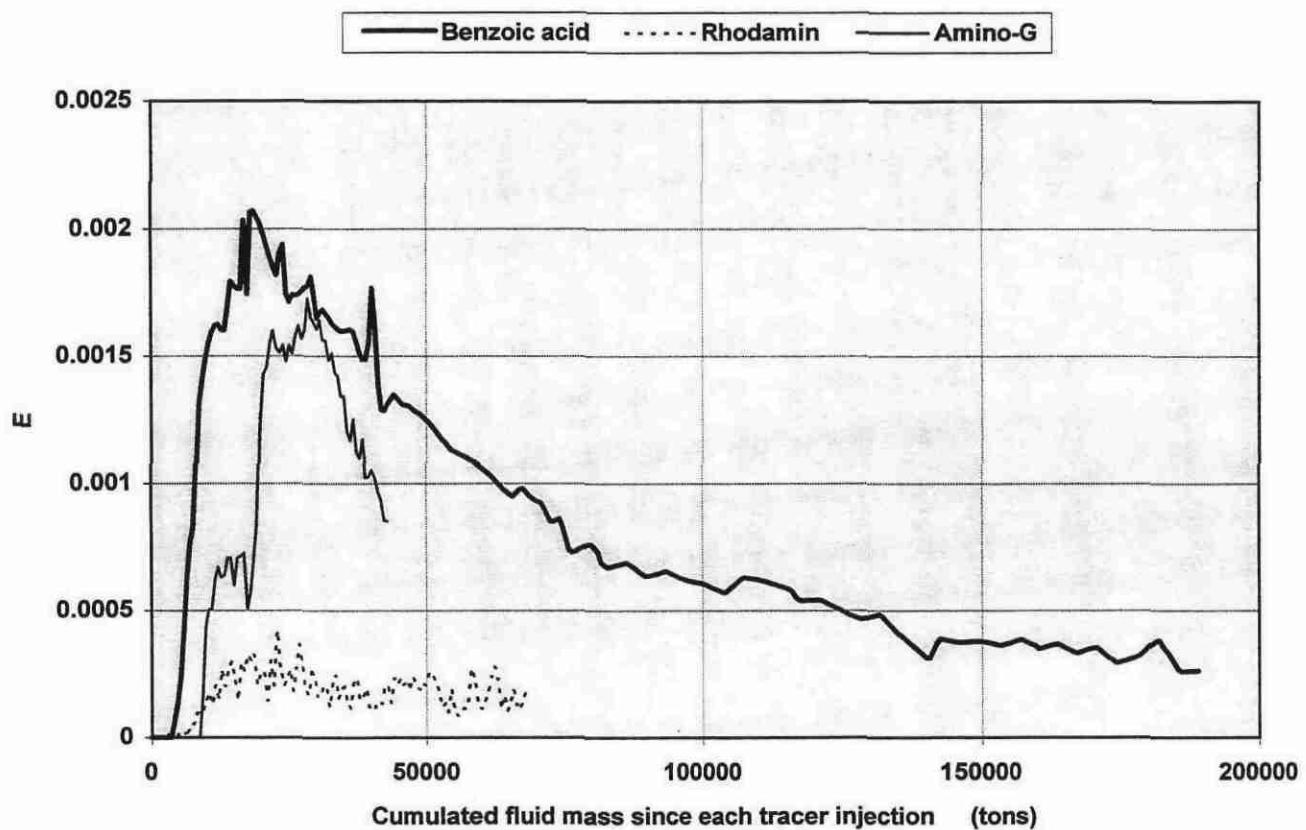
### Amino-G : correction for recycle



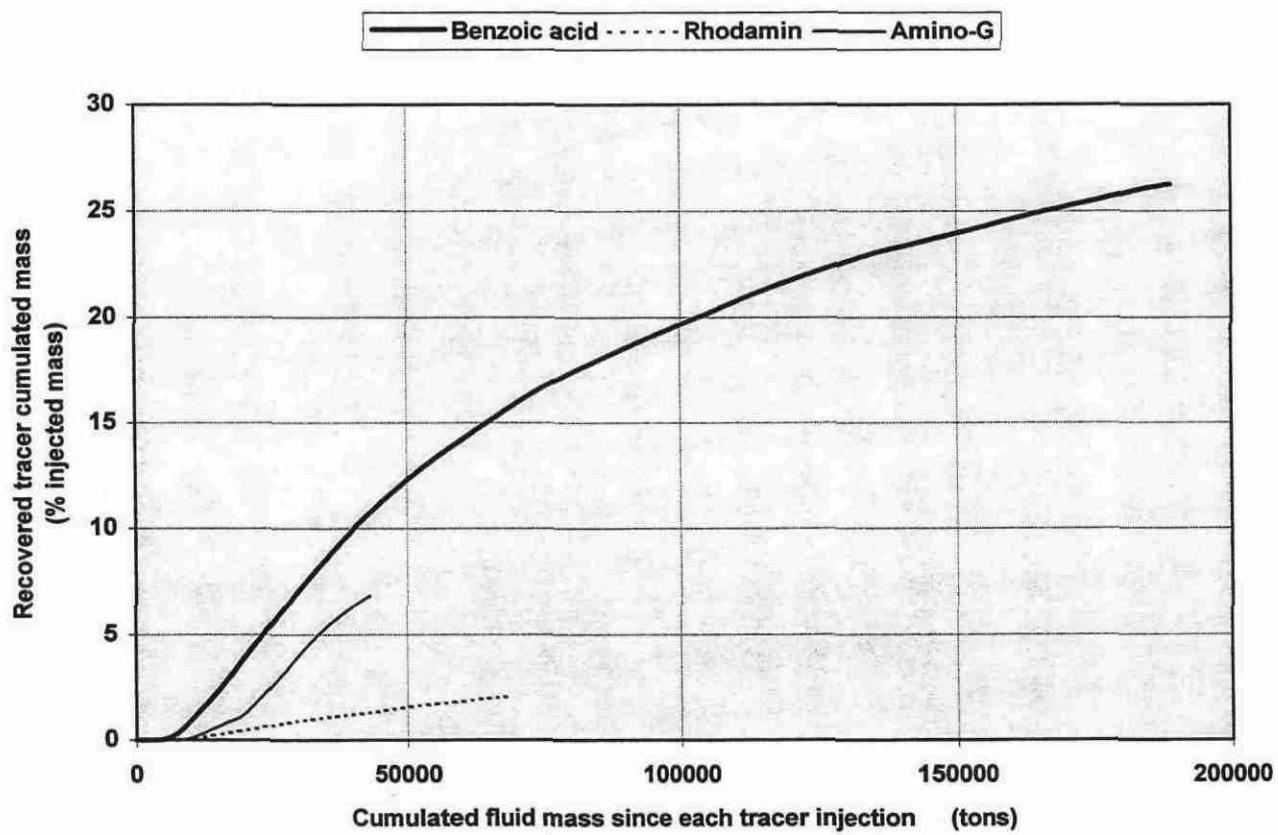
### Amino-G : model fit



### Impulse responses comparison



### Cumulated mass comparison



**BRGM**  
Service Reprographie  
Impression et façonnage

**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