

FORAGES DE
BÖTTSTEIN, WEIACH, RINIEN, SCHAFISHEIM,
KAISTEN, LEUGGERN (NORD DE LA SUISSE)

**INFLUENCE DES CONDITIONS
TECHNIQUES ET HYDROGÉOLOGIQUES
SUR LES PÉRIODES D'ÉCHANTILLONNAGE
DES EAUX SOUTERRAINES**

THESE

présentée à la Faculté des Sciences de l'Université de Neuchâtel
pour obtenir le grade de docteur ès sciences

par

CAROLINE WITWER

Géologue diplômée
de l'Université de Neuchâtel

1988

IMPRIMATUR POUR LA THÈSE

Influences des conditions techniques et
hydrogéologiques sur les périodes d'échan-
tillonnage des eaux souterraines

de M^{ademoiselle} Caroline Wittwer

UNIVERSITÉ DE NEUCHÂTEL
FACULTÉ DES SCIENCES

La Faculté des sciences de l'Université de Neuchâtel,
sur le rapport des membres du jury,

Messieurs A. Burger, F. Zwahlen, L. Kiraly,
C. McCombie (Baden) et F.J. Pearson
(Houston)

autorise l'impression de la présente thèse.

Neuchâtel, le 21 septembre 1988

Le doyen:

F. Persoz



AVANT PROPOS

A la suite de la publication du rapport technique NTB 85-49 intitulé: "Sondierbohrungen Boettstein, Weiach, Riniken, Schafisheim, Kaisten, Leuggern: Probenahmen und chemische Analysen von Grundwässern", la Compagnie pour l'entreposage des déchets radioactifs (CEDRA) a soutenu mes activités entre 1986 et 1987, afin que je puisse mettre en valeur les expériences acquises au cours de l'élaboration du travail sus-mentionné et en tirer des indications quant aux conditions hydrauliques du milieu. Les résultats de cette deuxième phase de travail ont été publiés dans la série des rapports techniques de la CEDRA (NTB 87-10) sous le titre: "Forages de Boettstein, Weiach, Riniken, Schafisheim, Kaisten, Leuggern: Influence des conditions techniques et hydrogéologiques sur les périodes d'échantillonnage des eaux souterraines".

Je remercie tout particulièrement la CEDRA d'avoir mis à ma disposition les nombreux documents nécessaires à cette synthèse et d'avoir soutenu mon travail. Ces deux rapports ont été présentés au Centre d'Hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel comme thèse de doctorat. Le second volume contenant un aperçu général des problèmes liés à l'échantillonnage des eaux profondes dans les forages, il a été choisi comme publication de doctorat et paraît additionnellement sous la forme actuelle.

Les données de base proviennent en grande partie des compagnies de forage (SAD, DST), de Motor Columbus Ing. qui s'est occupé de suivre les paramètres physico-chimiques (conductibilité électrique, pH, traceurs artificiels), ainsi que de la Compagnie Gartner et Lee AG qui a effectué les tests hydrogéologiques par obturateur.

Mes remerciements vont aussi à Mrs. F. Stauffer (ETH, Zürich) et S. Vomvoris (CEDRA) pour leur aide et leurs conseils lors de l'étude des phénomènes de dispersion hydrodynamique, à P. Blümling (CEDRA) pour la réalisation des programmes de calcul et, bien entendu, aux secrétaires et dessinateurs, V. Atchison, J. Kellermüller, D. Koricki, et B. Kunz, pour leur collaboration efficace et amicale.

RESUME

Le programme de recherches hydrogéologiques de la Coopérative pour l'entreposage des déchets radioactifs (CEDRA) a permis de procéder à plus de soixante échantillonnages des eaux souterraines dans six forages profonds (1,3 à 2,5 km) du nord de la Suisse.

Ces échantillonnages ont été réalisés après avoir isolé des intervalles bien définis de la couverture sédimentaire et du socle cristallin à l'aide d'obturateurs (packers), reliés à la surface par un tubage.

Afin de déterminer la pollution des eaux souterraines par les fluides de forage, deux traceurs artificiels (uranine et mTFMBA) furent ajoutés en quantité connue aux fluides de forage, constitués la plupart du temps par de l'eau déionisée. La concentration de ces deux traceurs a ensuite été mesurée pendant toute la période de nettoyage qui précède l'échantillonnage proprement-dit.

Ce travail traite les paramètres (durée et volume des pertes de fluide de forage, durée et volume des débits artésiens avant les tests, volumes pompés, concentration de référence des traceurs dans les fluides de forage) qui ont été reconnus, jouer un rôle prépondérant au cours des échantillonnages et influencer les courbes de restitution des traceurs. Afin de procéder à une étude quantitative de ces relations, la durée et les volumes de pertes de fluides de forage et des débits artésiens ont été déterminés pour chaque intervalle. Les volumes pompés, mesurés à la surface, ont été corrigés pour obtenir les volumes réels extraits de la roche. Les concentrations relatives des traceurs ont été calculées en connaissant les valeurs de référence dans les fluides de forage, et l'histoire des intervalles avant les tests.

Malheureusement, les valeurs compilées ne permettent pas de tirer de conclusions quantitatives quant à l'effet des paramètres liés aux activités de forage sur le déroulement des périodes d'échantillonnages, vu l'imprécision des mesures de terrain et la variabilité des conditions de forage.

Puisque Bear (1979) a proposé une méthode analytique approchée pour l'interprétation d'essais d'injection et de pompage dans un puits unique en employant la courbe de restitution d'un traceur en fonction du volume d'eau extrait de la roche, les données rassemblées ont été employées pour calculer des valeurs de dispersion hydrodynamique. Vu que ces calculs tiennent compte du volume de

fluide injecté dans la roche et que les données de terrain sont insuffisantes, les courbes de restitution des traceurs ont été intégrées pour obtenir des valeurs précises des volumes injectés.

Neuf tests, choisis en raison de conditions initiales adéquates et suffisamment bien documentées, ont été traités. Les valeurs de dispersivité longitudinale obtenues pour les 5 tests qui n'ont pas été perturbés par les activités de forage, varient entre 0,10 et 0,27 m dans les roches cristallines fracturées et déformées (en admettant une porosité cinématique de 3,3 %) et entre 0,04 et 0,10 m dans les roches sédimentaires (porosité cinématique 5 à 10 %).

Malgré que cette méthode d'interprétation soit basée sur l'hypothèse d'un milieu poreux à écoulement radial planaire, sans diffusion moléculaire, et que la plupart des tests aient été effectués en milieu fracturé, les résultats obtenus sont comparables aux données de la littérature.

Un calcul simplifié de la distance parcourue par les traceurs indique pour les roches sédimentaires des valeurs de l'ordre d'1 à 2 m; dans les roches fracturées, ces distances passent par contre de 3 à plus de 50 m. Ces résultats montrent que les calculs de dispersivité longitudinale effectués donnent l'occasion de mettre en évidence les problèmes liés à la réalisation de l'interprétation de ce type d'essai mais que les valeurs elles-mêmes ne sont qu'indicatives et ne devraient pas être employées lors de futurs calculs.

ZUSAMMENFASSUNG

Das hydrogeologische Untersuchungsprogramm der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) umfasste mehr als 60 Probenahmen aus Tiefengrundwässern in sechs Tiefbohrungen (Tiefe 1,3 bis 2,5 km) in der Nordschweiz.

Diese Wasserproben wurden gewonnen, nachdem genau definierte Bohrlochabschnitte in der Sedimentdecke und im kristallinen Sockelgestein mittels Packern abgedichtet wurden. Letztere waren durch Rohrleitungen mit der Oberfläche verbunden.

Um die Verunreinigung der Grundwässer durch die Spülflüssigkeiten zu bestimmen, wurde diesen zwei künstliche Tracer (Uranin und mTFMBA) in bekannten Konzentrationen beige-mischt. Die Spülflüssigkeit war in den meisten Fällen deionisiertes Wasser. Die Konzentration dieser beiden Tracer wurde während der Reinigungsphase, die der eigentlichen Probenahme vorangeht, kontinuierlich bestimmt.

Dieser Bericht behandelt die Parameter (Dauer und Volumen der Spülflüssigkeitsverluste, Dauer und Volumen der artesischen Zuflüsse vor den Untersuchungen, gepumptes Volumen und Referenzkonzentrationen der Tracer in der Spülflüssigkeit), welche anlässlich der Probenahmen als einflussnehmend erkannt wurden und zudem die Rückgewinnung der Tracer beeinflussen. Um zu einer quantitativen Analyse dieser Beziehungen zu gelangen, wurden die Dauer und die Volumen der Spülflüssigkeitsverluste und die artesischen Zuflüsse für jedes Intervall bestimmt. Die an der Erdoberfläche gemessenen gepumpten Volumen wurden korrigiert, um die effektiven dem Gestein entnommen Volumen zu bestimmen. Die relativen Konzentrationen der Tracer wurden aufgrund der Kenntnisse bezüglich den Referenzkonzentrationen in den Spülflüssigkeiten und der Geschichte der einzelnen Intervalle vor den Untersuchungen berechnet.

Unglücklicherweise lassen die gesammelten Daten keine Rückschlüsse auf die Auswirkungen der mit der Bohraktivität verknüpften Parameter auf die Abwicklung der Probenahme zu. Dies hängt mit den Ungenauigkeiten der Felddatenerhebung und der Variabilität der Bohrbedingungen zusammen.

Da Bear (1979) ein analytisches Näherungsverfahren, basierend auf der Tracer-Rückgewinnungskurve als Funktion des aus dem Gestein extrahierten Wasservolumens, für die Interpretation von Injektions- und Pumpversuchen in einem einzelnen Bohrloch vorgeschlagen hat, wurden die gesammelten Daten dazu verwendet, hydrodynamische Dispersionswerte zu bestimmen. Da diese Berechnungen sich auf das in

das Gestein verpresste Flüssigkeitsvolumen abstützt und die Felddaten unzureichend sind, wurden die Kurven der Tracer-Rückgewinnung integriert, um zu genauen Angaben bezüglich den verpressten Volumen zu gelangen.

Neun Untersuchungen, ausgewählt aufgrund geeigneter und ausreichend gut dokumentierter Ausgangsbedingungen, wurden in Betracht gezogen. Die Werte der longitudinalen Dispersivität, welche für die fünf nicht durch Bohraktivitäten gestörten Untersuchungen erhalten wurden, variieren zwischen 0,10 und 0,27 m in den zerklüfteten und verformten kristallinen Gesteinen (eine kinematische Porosität von 3,3% zulassend) und zwischen 0,04 und 0,10 m in den Sedimentgesteinen (kinematische Porosität 5 bis 10%).

Obwohl diese Interpretationsmethode auf der Hypothese eines porösen Milieus mit ebener, radialer Fließwege ohne molekulare Diffusion beruht, und obwohl die Mehrzahl der Untersuchungen in zerklüftetem Gestein stattfanden, sind die erhaltenen Resultate vergleichbar mit Literaturangaben.

Eine vereinfachte Berechnung der Fließdistanzen der Tracer weist für die Sedimentgesteine Werte im Bereich von 1 bis 2 m aus, in den zerklüfteten Gesteinen bewegen sich diese Distanzen hingegen im Bereich von 3 bis 50 m. Diese Resultate zeigen, dass die ausgeführten Berechnungen der longitudinalen Dispersivität eine Gelegenheit geben, die mit der Interpretation solcher Untersuchungen verknüpften Probleme klar herauszustellen. Die Resultate können hingegen lediglich Hinweise geben, aber sollten nicht für zukünftige Berechnungen verwendet werden.

SUMMARY

The hydrogeological research programme carried out by the National Cooperative for the Storage of Radioactive Waste (NAGRA) included more than 60 sampling campaigns of groundwaters in six deep boreholes (1.3 to 2.5 km) in northern Switzerland.

The sampling campaigns were carried out after isolating well-defined intervals of the sedimentary section and the crystalline basement using packers linked to the surface by tubing.

In order to determine the pollution of the groundwaters by the drilling fluids, two artificial tracers (uranine and mTFMBA) were added in known quantities to the drilling fluids, which consist most of the time of deionised water. The concentration of these two tracers was then measured during the whole clean-up period which precedes the sampling itself.

This report considers the parameters (duration and volume of drilling fluid loss, duration and volume of artesian flow before the tests, pumped volumes and reference concentration of the tracers in the drilling fluids) which have been recognised as playing an important role during the sampling and which influence the restitution of the tracers. To allow a quantitative study of these relationships, the duration and volume of drilling fluid loss and artesian flow were determined for each interval. The pumped volumes, measured at the surface, were corrected to obtain the actual volumes extracted from the rock. The relative concentrations of the tracers were calculated on the basis of their reference values in the drilling fluid and the background of the intervals before the tests.

Unfortunately, the compiled values do not allow quantitative conclusions to be drawn on the effect of parameters linked to the drilling activities on the evolution of the sampling periods; this is due to imprecision in field measurements and the variability of drilling conditions.

Since Bear (1979) described an analytical approach for interpreting injection tests and pumping tests in a single borehole using the restitution curve of a tracer as a function of the volume of water extracted from the rock, the data collected have been used to calculate values for hydrodynamic dispersion. Given that these calculations take into account the volume of fluid injected into the rock and that the field information is insufficient, the tracer restitution curves were integrated to give more precise values for the volumes of water injected.

Nine tests, selected because the starting conditions were adequate and sufficiently well-documented, have been considered. The values for longitudinal dispersivity for the five tests where there was no disturbance due to drilling activities vary between 0.10 and 0.27 m in crystalline rocks which are fractured and deformed (allowing a kinematic porosity of 3.3%) and between 0.04 and 0.10 m in sedimentary rocks (kinematic porosity 5 to 10%).

Despite this interpretation method being based on the hypothesis of a porous medium with radial planar flow (without molecular diffusion), and the fact that the majority of the tests were carried out in a fractured medium, the results obtained are comparable with the literature data.

A simplified calculation of the distance covered by the tracers indicates values in the order of 1 to 2 m for sedimentary rocks; in fractured rocks, the distances are between 3 and 50 m and more. These results show that the calculations of longitudinal dispersivity provide an opportunity of showing up the problems associated in interpreting this type of test but that the values themselves are only indicative and should not be used for future calculations.

<u>TABLE DES MATIERES</u>		<u>Page</u>
AVANT PROPOS		I
RESUME		II
ZUSAMMENFASSUNG		IV
SUMMARY		VI
TABLE DES MATIERES		VIII
LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX DANS LE TEXTE		XI
LISTE DES ANNEXES		XII
LISTE DES APPENDICES		XIII
1.	INTRODUCTION	1
1.1	Cadre et buts du rapport NTB 85-49: Forage de Boettstein, Weiach, Riniken, Schafisheim, Kaisten, Leuggern: échantillonnages et analyses chimiques des eaux souterraines	3
1.2	Cadre et buts du présent rapport	4
2.	CONDITIONS INITIALES ET BASES THEORIQUES	6
2.1	Introduction	6
2.2	Influence des conditions techniques sur les périodes d'échantillonnage	9
2.3	Etude des phénomènes de dispersion hydrodynamique	9
2.3.1	Conditions hydrogéologiques et techniques initiales	10
2.3.2	La dispersion hydrodynamique	14
2.3.3	Résolution de l'équation de dispersion hydrodynamique dans le cas de l'écoulement radial sans diffusion moléculaire par méthode analytique approchée	18
3.	SITUATION REGIONALE	22
3.1	Géologie	22
3.2	Hydrogéologie	25

	<u>Page</u>
4. CADRE TECHNIQUE	29
4.1 Méthodes de forage	29
4.2 Fluides de forage	29
4.2.1 Emploi des types de fluide dans les forages	30
4.2.2 Marquage des fluides de forage par traceurs artificiels	32
4.2.3 Influence des liquides de forage	32
4.2.3.1 Les pertes de fluide de forage	33
4.2.3.2 Le type de fluide de forage	34
4.3 Déroulement des échantillonnages	35
4.3.1 Intervalles échantillonnés	35
4.3.2 Systèmes d'isolation des intervalles	36
4.3.3 Méthodes de nettoyage des intervalles	36
5. LES DONNÉES	38
5.1 Tabelles de données	39
6. TRAITEMENT DES DONNEES	41
6.1 Préparation des paramètres significatifs	41
6.1.1 Pertes de fluide de forage	41
6.1.2 Volumes déplacés par écoulement artésien	43
6.1.3 Paramètres géométriques	45
6.1.4 Paramètres hydrauliques	45
6.1.5 Traceurs artificiels, conductivité électrique et pH	46
6.1.6 Volumes extraits par pompage ou puisage	47
6.2 Relation entre la qualité des échantillons et les conditions de test	49
6.3 Dispersion hydrodynamique	53
6.3.1 Choix des tests	53
6.3.2 Traitement des données	54
6.3.2.1 Calcul de la dispersivité longitudinale A_L	54
6.3.2.2 Calcul du volume de fluide de forage injecté V_i	55

	<u>Page</u>
7. RESULTATS ET INTERPRETATIONS	56
7.1 Relations entre les conditions initiales dépendantes du forage et les tests	56
7.1.1 Résultats	56
7.1.2 Discussion	56
7.2 Dispersion hydrodynamique	62
7.2.1 Volume de fluide de forage injecté V_i	62
7.2.1.1 Résultats	62
7.2.1.2 Discussion	64
7.2.2 Calcul de la dispersivité longitudinale	67
7.2.2.1 Résultats	67
7.2.2.2 Discussion	69
8. CONCLUSIONS	76
9. RESUME	81
9.1 Introduction	81
9.1.1 Echantillons représentatifs des eaux souterraines (NTB 85-49)	81
9.1.2 Etude des courbes de restitution des traceurs pendant les périodes d'échantillonnage (NTB 87-10)	82
9.2 Données	83
9.3 Traitement des données	83
9.3.1 Qualité des échantillons	84
9.3.2 Influence des paramètres techniques	84
9.3.3 Dispersion hydrodynamique	85
9.4 Résultats	86
9.4.1 Qualité des échantillons	86
9.4.2 Influence des paramètres techniques	87
9.4.3 Dispersivité longitudinale A_L	87
9.5 Conclusions et recommandations	88
9.5.1 Qualité des échantillons	89
9.5.2 Influence des paramètres techniques	90
9.5.3 Dispersivité longitudinale A_L	90
LITTERATURE CONSULTEE	91

LISTE DES FIGURES DANS LE TEXTE

- 2.1 Exemple de courbe de restitution d'un traceur en fonction du temps
- 2.2 Exemple de délimitation des intervalles dans des couches sédimentaires poreuses et dans des roches cristallines fracturées (Obturbateur simple et double)
- 2.3 Modèle conceptuel des zones d'écoulement associées aux filons et zone déformées dans les roches cristallines.
- 2.4 Mécanismes de dispersion mécanique à l'échelle microscopique
- 2.5 Exemple d'emploi de la courbe de restitution d'un traceur en fonction du volume pompé pour déterminer le paramètre ΔV_p , nécessaire à la résolution de l'équation de dispersion simplifiée.
- 6.1 Exemples de graphes représentant la qualité des échantillons (% de traceur mTFMBA) en fonction de différents paramètres (volume des pertes de fluide pendant les activités de forage, F10%) typiques des activités de forage et de test pour les intervalles échantillonnées.

LISTE DES TABLEAUX DANS LE TEXTE

- 7.1 Résumé des principales données caractéristiques des tests d'échantillonnage
- 7.2 Volumes injectés calculés par la somme des concentrations des traceurs mesurés pendant les périodes de nettoyage
- 7.3 Comparaison entre les volumes des pertes mesurés et les volumes injectés calculés
- 7.4 Dispersivités longitudinales, calcul par méthode analytique approchée (Mercado 1966)
- 7.5 Comparaison entre la dispersivité longitudinale, la perméabilité et la géologie des zones d'écoulement
- 7.6 Calcul du rayon de la zone tracée pendant la phase d'injection des traceurs.

LISTE DES ANNEXES

- 3.1 Situation géographique et tectonique
- 3.2 Boettstein: types d'eau et minéralisation totale
- 3.2bis Weiach: colonne stratigraphique jusqu'au Buntsandstein
- 3.3 Weiach: types d'eau et minéralisation totale
- 3.4 Riniken: types d'eau et minéralisation totale
- 3.5 Schafisheim: types d'eau et minéralisation totale
- 3.6 Kaisten: types d'eau et minéralisation totale
- 3.7 Leuggern: types d'eau et minéralisation totale

- 4.1 Schéma d'un système de prélèvement avec obturateurs (packers) utilisé pendant les périodes d'échantillonnages
- 4.2a Boettstein, Weiach, Riniken: intervalles échantillonnés
- 4.2b Schafisheim, Kaisten, Leuggern: intervalles échantillonnés

- 6.1 Schafisheim 1'571 m: volume extrait corrigé cumulé = f (durée)
- 6.2 Schafisheim 1'571 m: % uranine, $m_{TFMBA} = f$ (durée)
- 6.3 Böttstein 621 m: % uranine = f (concentration uranine cumulée)
- 7.1 Böttstein 400 m: % uranine, $m_{TFMBA} = f$ (volume extrait corrigé cumulé)
- 7.2 Böttstein 621 m: % uranine, $m_{TFMBA} = f$ (volume extrait corrigé cumulé)
- 7.3 Schafisheim 1'571 m: % uranine, $m_{TFMBA} = f$ (volume extrait corrigé cumulé)
- 7.4 Schafisheim 1'888 m: % uranine, $m_{TFMBA} = f$ (volume extrait corrigé cumulé)

- 7.5 Kaisten 114 m: % uranine, mTFMBA = f (volume extrait corrigé cumulé)
- 7.6 Kaisten 483 m: % uranine, mTFMBA = f (volume extrait corrigé cumulé)
- 7.7 Leuggern 75 m: % mTFMBA = f (volume extrait corrigé cumulé)
- 7.8a Leuggern 923 m (échantillonneurs): % mTFMBA = f (volume extrait corrigé cumulé)
- 7.8b Leuggern 923 m (swabbing): % mTFMBA = f (volume extrait corrigé cumulé)
- 7.9 Leuggern 1'643 m: % uranine, mTFMBA = f (volume extrait corrigé cumulé)

LISTE DES APPENDICES

- Appendice I: Forage de Böttstein, Données
- Appendice II: Forage de Weiach, Données
- Appendice III: Forage de Riniken, Données
- Appendice IV: Forage de Schafisheim, Données
- Appendice V: Forage de Kaisten, Données
- Appendice VI: Forage de Leuggern, Données
- Appendice VII: Périodes d'échantillonnages, Données

1. INTRODUCTION

Dans le cadre de son programme de recherche dans les roches sédimentaires et cristallines du nord de la Suisse, la Compagnie pour l'entreposage des déchets radioactifs CEDRA a effectué six forages atteignant une profondeur de 1,3 à 2,5 km entre 1982 et 1985. Ces forages ont permis de réaliser un large éventail de mesures géologiques (minéralogie, fracturation, etc.), géophysiques (logs, sonic televiewer, etc.) et hydrogéologiques (tests hydrauliques, échantillonnages chimiques et isotopiques, etc.).

Comme l'eau est le principal vecteur lors de la migration des radionuclides entre le dépôt et la biosphère, il faut caractériser en détail les conditions hydrogéologiques du milieu, c'est-à-dire ses paramètres hydrauliques (perméabilité, potentiel) et spécialement l'état physico-chimiques des eaux souterraines (potentiel redox, indices de saturation, etc.). Un programme de forage ambitieux a été préparé dans le but de répondre à ces questions. Il fut prévu que non seulement les aquifères situés dans les roches sédimentaires et connus par les études régionales, mais aussi les zones perméables dans les roches cristallines seraient isolés séparément du reste du forage, afin de procéder aux tests hydrauliques et aux échantillonnages des eaux souterraines. Des renseignements indispensables à la compréhension des systèmes d'écoulement ont ainsi été obtenus tant sur le domaine hydraulique, que sur le chimisme et les temps de résidence des eaux souterraines.

Lors des activités de forage, une foule de renseignements a été amassée pour documenter les tests et pouvoir discuter la qualité des données obtenues. Comme le chimisme des eaux souterraines peut être complètement oblitéré par les effets dus au forage, par exemple par les mélanges avec les boues, le contact avec les tubes, les fortes diminutions de pression pendant les échantillonnages, la CEDRA a publié un rapport technique (NTB 85-49), qui commente et évalue toutes les données chimiques obtenues au cours de la campagne de forage.

Le rapport NTB 85-49 présente ainsi la première étape de l'interprétation des données chimiques. Avant de procéder à l'échantillonnage proprement-dit pour les analyses chimiques détaillées, il faut nettoyer les intervalles, c'est-à-dire remplacer les fluides de forage par de l'eau souterraine. Cette période de nettoyage a été contrôlée avec soin, afin de pouvoir connaître la proportion de fluide de

forage, respectivement d'eau souterraine, contenue dans l'eau extraite et assurer la qualité des échantillons. Ces proportions relatives ont pu être déterminées de manière quantitative grâce à l'introduction de traceurs artificiels (uranine, mTFMBA) dans les fluides de forage.

Au cours du travail de documentation réalisé pour l'élaboration du rapport NTB 85-49, la variabilité de ces périodes de nettoyage a attiré l'attention. Comme les mélanges d'eau souterraine et de fluide de forage se passent non seulement dans l'intervalle et le système de prélèvement, mais aussi dans la roche environnante (si des pertes de fluide ont eu lieu), les périodes de nettoyage peuvent être étudiées pour en déduire des informations concernant le milieu géologique où les eaux circulent autour du forage.

Les tests d'échantillonnages, prévus tout d'abord uniquement pour l'acquisition de données hydrochimiques fiables ont ainsi été employés de manière tout à fait différente et ont permis d'aborder le problème de la dispersion hydrodynamique et de calculer des valeurs de dispersivité longitudinale. Bear (1979) a en effet proposé des équations analytiques approximatives pour l'interprétation des courbes de restitution d'un traceur pendant la période de pompage suivant l'injection du traceur. Bien que cette méthode soit valable pour un écoulement radial planaire en milieu poreux, elle a été employée en première approximation pour traiter les mesures effectuées dans la couverture sédimentaire et les roches cristallines et pour déterminer si ces données peuvent fournir des résultats plausibles.

Les périodes de nettoyage des intervalles en vue des analyses hydrochimiques et les échantillons sont donc commentées et évaluées dans deux rapports:

- un premier volume, dont le sujet principal est l'étude des échantillons proprement-dits, qui fut publié en 1986 dans la série des rapports techniques de la CEDRA sous l'abréviation NTB 85-49,
- ce deuxième ouvrage dédié à l'analyse des périodes de nettoyage des intervalles avant les échantillonnages.

Ces deux volumes ont été présentés comme Thèse de doctorat au Centre d'Hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel.

L'intérêt de la CEDRA dans la préparation et les résultats de ces travaux réside dans le fait que les procédés choisis ont permis de tirer le meilleur parti possible des échantillonnages et de fournir des données hydrochimiques fiables, ainsi que des valeurs de dispersion longitudinale, un des paramètres nécessaires à la résolution des équations qui prédisent le transport des substances dissoutes entre le dépôt de déchet radioactifs et la biosphère.

Afin de donner un aperçu de la matière abordée, le contenu de ces deux rapports est brièvement décrit ci-dessous.

1.1 Cadre et buts du rapport NTB 85-49: Forage de Boettstein, Weiach, Riniken, Schafisheim, Kaisten, Leuggern: échantillonnages et analyses chimiques des eaux souterraines

Avant toute interprétation hydrochimique, il est nécessaire de déterminer si les échantillons considérés représentent globalement le chimisme des eaux profondes, ou si l'influence des activités de forage est prépondérante. En effet, le sondage perturbe les conditions hydrauliques naturelles, mais aussi le chimisme puisque des substances et fluides étrangers sont mis en contact avec la roche et les eaux souterraines.

Les commentaires relatifs aux périodes d'échantillonnage des eaux souterraines, les résultats des analyses hydrochimiques, ainsi que la détermination de leur qualité en fonction de l'influence des liquides de forage font l'objet du rapport technique NTB 85-49 intitulé "Sondierbohrungen Boettstein, Weiach, Riniken, Schafisheim, Kaisten, Leuggern: Probenahmen und chemische Analysen von Grundwässern". Ce premier volume a pour but d'évaluer la centaine d'échantillons soumis à des analyses très détaillées des paramètres hydrochimiques, des gaz et des isotopes radioactifs ou non-radioactifs. La qualité de ces données dépend en effet non seulement de la manière d'effectuer l'échantillonnage et des méthodes d'analyses (discutées dans les rapports NTB 85-04, 85-05, 85-06 et 85-07) mais aussi de l'influence des perturbations dues aux activités de forage et principalement au mélange des liquides employés pour le percement des puits avec les eaux souterraines. Dans le cadre du programme de la Cédra, ces mélanges ont pu être quantifiés grâce au fait que deux traceurs artificiels furent ajoutés en concentration connue aux fluides de forage.

Ce rapport permet tout d'abord de résumer les problèmes rencontrés et méthodes employées lors de l'élaboration des données. Il comprend ensuite une description et une discussion de la qualité de chacun des échantillonnages, et propose enfin quelles valeurs doivent être choisies ou rejetées. Dans certains cas, il a fallu procéder à des corrections des mesures, afin de pouvoir considérer ces valeurs comme représentatives du chimisme des eaux souterraines.

Cette première étude a donc fourni des valeurs fiables des composants chimiques des eaux souterraines analysés en surface. Les scientifiques ont pu ensuite procéder aux interprétations géochimiques et isotopiques et en déduire, entre autre, le chimisme des eaux souterraines, comme il devrait apparaître en profondeur dans les roches-réservoir, voir rapports NTB 85-05 et 86-19.

1.2 Cadre et buts du présent rapport

Ce travail complète et continue les recherches menées lors de l'élaboration du rapport NTB 85-49. Le grand nombre de données, rassemblées dans le but de qualifier les échantillons, peut également servir à mieux comprendre dans quelle mesure les périodes de nettoyage des intervalles et d'échantillonnage sont influencées par les conditions techniques du forage et par l'environnement naturel.

Ce travail consiste ainsi à:

- rechercher s'il existe des relations entre la qualité des échantillons, déterminée grâce aux traceurs artificiels, et
 - . les différentes méthodes de forage,
 - . le moment de l'échantillonnage par rapport au percement de l'intervalle considéré,
 - . la quantité des pertes de fluide de forage,
 - . le perméabilité de l'intervalle,
 - . les volumes inclus dans les systèmes de prélèvement et tubages - etc.
- employer les mesures de traceurs artificiels, réalisées pendant les échantillonnages, selon la méthode proposée par Mercado (1966) et Bear (1979) pour l'interprétation des tests d'injection de traceur et de pompage dans un seul puits par méthode analytique approchée.

Les résultats obtenus ont permis de discuter les méthodes d'échantillonnage, de proposer des améliorations des mesures, d'acquérir des informations quant aux processus de mélange des eaux souterraines et des fluides de forage dans le système de prélèvement et dans la roche, et enfin de déterminer des valeurs de dispersivité longitudinale pour une série de huit intervalles dans les roches sédimentaires et cristallines.

Après l'introduction, le second chapitre aborde les bases théoriques sur lesquelles se fonde cette seconde étude. Les problèmes liés en particulier à la détermination de la qualité des échantillons ont déjà fait l'objet du précédent rapport et ne seront évoqués que s'ils jouent également un rôle dans le cadre du présent travail.

Le troisième chapitre est consacré au cadre régional géographique, géologique et hydrogéologique.

Les conditions techniques selon lesquelles ont été effectués les forages et les échantillonnages, ainsi que les paramètres dépendants des activités de forage et qui influencent la qualité des échantillons sont présentés dans le quatrième chapitre.

Les sources et le rassemblement des données hydrogéologiques et techniques font l'objet du cinquième chapitre.

Le traitement des données est décrit dans le sixième chapitre qui est divisé en deux parties, l'une dédiée à l'étude des relations entre la qualité des échantillons et les conditions de test, l'autre au calcul de valeurs de dispersivité.

Les résultats et les interprétations sont discutés en détail dans le septième chapitre, en particulier quels renseignements, concernant l'extension des fluides de forage dans la roche ou leur mécanisme de rétention et restitution, peuvent être déduits à partir des périodes de nettoyage des intervalles.

Les conclusions donnent l'occasion de comparer les valeurs de dispersivité longitudinale calculées aux données de la littérature.

2 CONDITIONS INITIALES ET BASES THÉORIQUES

2.1 Introduction

Un des buts des forages étant d'acquérir des données hydrochimiques et isotopiques, il fallait s'assurer que les valeurs mesurées représentaient bien les conditions naturelles et qu'elles n'étaient pas perturbées de manière incontrôlable par les activités de forage. A cet effet, des quantités connues de traceurs artificiels furent ajoutées à tous les fluides employés pendant le forage. Connaissant leur concentration moyenne au début de chaque période d'échantillonnage, appelée concentration ou valeur de référence, il était possible de déterminer tout au long de la période de test la proportion de fluide de forage incluse dans les échantillons.

En général, une période d'échantillonnage débute par la mise en place d'obturateurs dans le but d'isoler un segment du forage et des tests hydrauliques. Les tests se prolongent ensuite par une période de pompage ou puisage destinée à évacuer les fluides de forage piégés dans le système de prélèvement (segment isolé, tubes de test) et à les remplacer par l'eau souterraine. A la fin de cette période dite de nettoyage, on a procédé à l'échantillonnage proprement-dit pour les analyses hydrochimiques détaillées.

Près de 70 tests, répartis sur les 6 forages, ont fourni un grand nombre de données car la concentration des traceurs n'a pas été mesurée seulement au début et à la fin des périodes d'échantillonnages mais aussi pendant les périodes de nettoyage, qui sont accompagnées d'une diminution de la concentration des traceurs liée au mélange avec l'eau souterraine.

Toute concentration C mesurée au cours des tests peut être comparée à la valeur de référence C_0 déterminée dans le fluide de forage. On obtient ainsi une courbe de restitution des traceurs C/C_0 en fonction du temps.

Ces courbes de restitution des traceurs pendant les périodes de nettoyage des intervalles

$$C/C_0 = f(t)$$

où C = concentration du traceur dans tout échantillon

C_0 = concentration du traceur dans le fluide de forage

retiennent particulièrement l'attention puisqu'elles procurent les moyens de prévoir plus ou moins la durée de l'essai et de décider à quel moment les échantillonnages peuvent débuter.

Ces courbes sont souvent caractérisées, comme le montre la figure ci-dessous,

- par un premier pallier à C/C_0 environ égal à 100%,
- par une descente plus ou moins accentuée

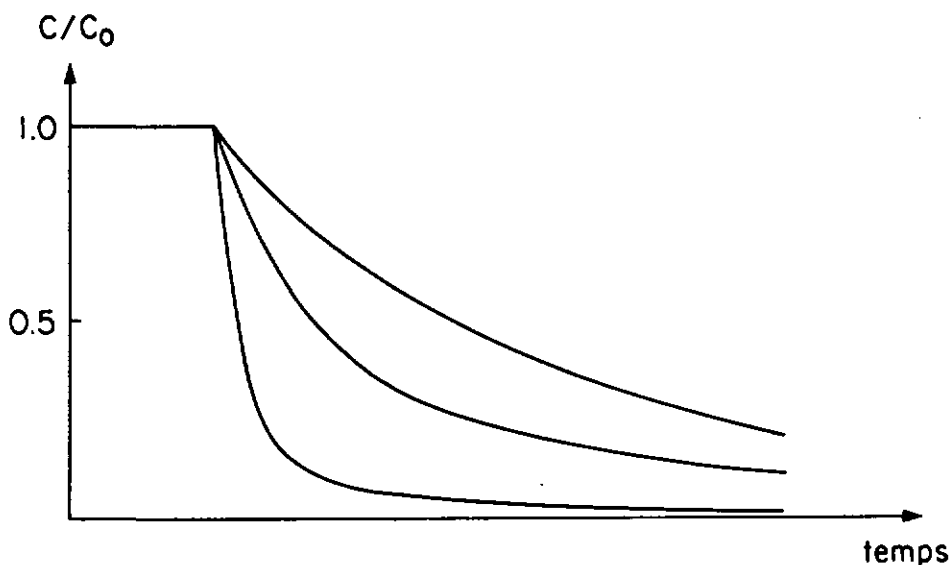


Fig. 2.1: Exemple de courbes de restitution d'un traceur en fonction du temps

Comme la forme de ces courbes varie parfois singulièrement et rend les prévisions difficiles, on s'intéressa à identifier les facteurs qui influencent la restitution des traceurs.

En première approximation, un écoulement laminaire dans les tubes qui relient la zone isolée à la surface et une diminution exponentielle de la concentration des traceurs dans les fluides pompés en fonction du temps

$$C/C_0 = ae^{-bt} \quad \text{où } a, b = \text{constantes}$$

furent proposés par Haug (1985). Celui-ci introduit la notion de volume dit "mort" pour expliquer les différents types de variation des courbes de restitution en fonction du volume pompé. Ce terme recouvre les volumes compris dans le système de prélèvement ou dans la roche elle-même qui ne participent que partiellement ou indirectement à la phase de nettoyage. En effet, lors des périodes de nettoyage, l'eau ne circule pas régulièrement dans toutes les parties du domaine d'écoulement.

Le mélange eau souterraine et fluide de forage peut être influencé par exemple:

- par un cake collé aux parois,
- par un espace calme isolé de l'écoulement principal entre la zone aquifère et l'ouverture des tubes de test à l'intérieur du segment de roche isolé par les obturateurs,
- par le volume de liquide situé au-dessus des pompes,
- par les quantités de fluide de forage qui ont été perdues dans la roche lors des activités de forage,

Tous ces paramètres créent une prolongation des périodes de nettoyage car les fluides de forage se mélangent lentement à l'eau souterraine lors des tests d'échantillonnage ou se sont déjà mélangés à l'eau souterraine dans l'environnement du puits pendant les activités de forage qui précèdent les tests.

En résumé les fluides de forage, à concentration des traceurs C_0 , se trouvent:

- dans le système de prélèvement qui isole les eaux à échantillonner du reste du forage
- dans la roche environnante elle-même, si des pertes ont eu lieu.

Lors des périodes de nettoyage des intervalles avant les échantillonnages, la restitution des fluides de forage peut être donc influencée par des facteurs liés à la géométrie du système de prélèvement et aux mélanges qui s'y passent, de même que par les phénomènes de dispersion qui ont eu lieu à l'intérieur de la roche (dispersion mécanique, diffusion moléculaire, sorption, réactions chimiques, ...).

L'objet de ce travail est premièrement de déterminer si les paramètres liés aux conditions techniques des échantillonnages (volumes inclus dans le système de prélèvement, pertes de fluide de forage, débits artésiens, ...) influencent la qualité des échantillonnages et deuxièmement d'employer les courbes de restitution des traceurs pendant les périodes de nettoyage pour en déduire des informations quant au mécanisme de dispersion hydrodynamique.

Cette seconde étape se base donc sur la supposition que les courbes de restitution des traceurs sont influencées de manière prépondérante par les mélanges créés lors des pertes de fluide de forage dans la roche autour du forage.

2.2 Influence des conditions techniques sur les périodes d'échantillonnage

Avant de traiter les courbes de restitution des traceurs, il fallait tout d'abord définir les conditions techniques qui pouvaient influencer les échantillonnages et s'assurer que les variations des traceurs mesurées sont bien influencées principalement par le système d'écoulement souterrain et non par le système de prélèvement.

Les renseignements concernant la durée possible des mélanges entre les eaux souterraines et les fluides de forage, les quantités en jeu, les événements qui auraient pu influencer ces mélanges et fausser ainsi les interprétations ultérieures, ont tout d'abord été rassemblés. La concentration des traceurs pendant les activités précèdent les échantillonnages a ensuite été déterminée en se basant sur l'histoire de l'intervalle avant le test, afin de pouvoir définir la concentration moyenne employée comme valeur de référence pour calculer la pollution des eaux souterraines par les fluides de forage. Toutes ces données ont enfin été comparées graphiquement entre elles puis aux valeurs des traceurs pendant et à la fin des échantillonnages.

Comme la préparation des données a montré que certains des paramètres (pertes de fluide de forage, débits artésiens) ne peuvent pas être déterminés pour une partie des tests et que les représentations graphiques n'ont pas permis de mettre en évidence une dépendance quelconque entre les paramètres techniques (durée et volumes des pertes de fluide de forage ou des débits artésiens pendant les différentes activités qui précèdent les tests, etc....) et la qualité des échantillonnages, un traitement mathématique plus approfondi de ces données n'a pas été effectué.

2.3 Etude des phénomènes de dispersion hydrodynamique

La théorie générale des phénomènes de dispersion a été discutée par de nombreux auteurs. Bear (1979) décrit de plus une méthode analytique simplifiée pour l'interprétation des courbes de restitution

d'un traceur pendant une période de pompage suivant une injection dans un puits unique. Comme les données à disposition dans le cadre de cette étude ne remplissent pas tout à fait les conditions et hypothèses qui sont à la base de cette méthode d'interprétation (milieu poreux homogène, écoulement radial planaire), il est très important de définir précisément le milieu naturel dans lequel se sont déroulés les essais, afin de pouvoir en tirer le maximum de renseignements possibles quant à la validité ou au contraire les limites des calculs effectués.

2.3.1 Conditions hydrogéologiques et techniques initiales

Les échantillonnages ont été réalisés dans des aquifères confinés, la plupart du temps artésiens, limités vers le haut et le bas par des formations considérées comme imperméables. Les obturateurs ont permis d'isoler soit l'aquifère complet dans les roches sédimentaires (par exemple le Muschelkalk supérieur ou le Buntsandstein), soit une zone d'écoulement discrète dans les roches cristallines et empêché ainsi les courts-circuits avec le reste du forage, voir Figure 2.2.

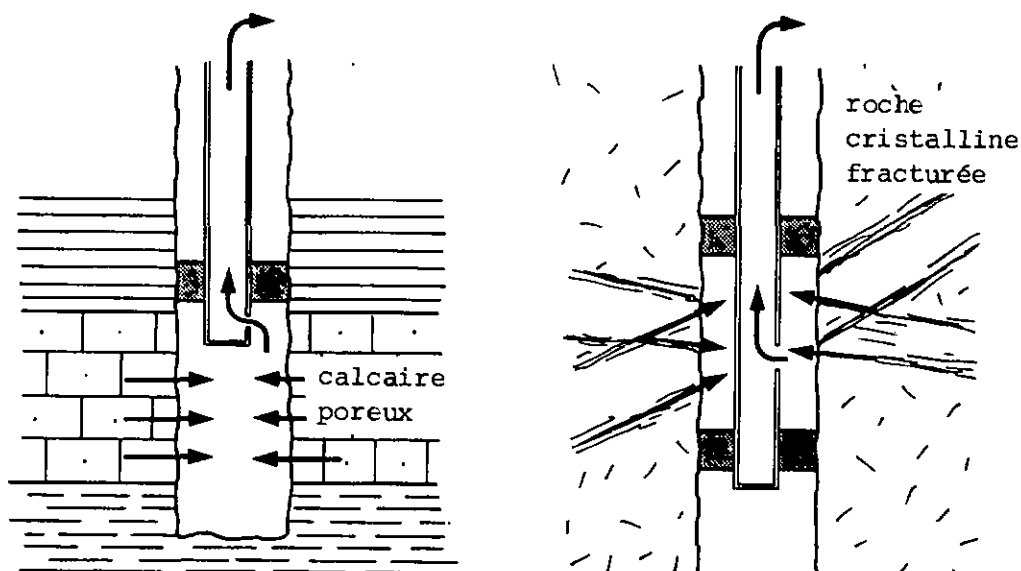


Fig. 2.2: Exemple de délimitation des intervalles dans des couches sédimentaires poreuses et dans des roches cristallines fracturées. (Obturbateur simple et double)

Les relevés géologiques effectués sur les carottes des forages, les logs géophysiques, les informations rassemblées sur le forage au sujet de l'occurrence des pertes de fluide de forage montrent qu'un écoulement de type milieu interstitiel domine dans les couches de la Molasse, du Keuper supérieur (Schilfsandstein), et du Buntsandstein. L'aquifère karstique du Muschelkalk supérieur est par contre caractérisé par un écoulement à double porosité, une porosité interstitielle à l'endroit des pores de dissolution et une porosité de fracture le long des chenaux karstiques. La série permo-carbonifère et le socle cristallin sont, eux, drainés selon les zones de fracture et de déformation. L'étude des systèmes d'écoulement dans les roches granitiques et gneissiques, menée dans le cadre de la synthèse des données géologiques des six forages, a mis en évidence trois types de zones d'écoulement:

- 1 - les veines, filons hydrothermaux et fractures partiellement ouverts associés à des zones de déformation,
- 2 - les filons pegmatitiques et aplitiques fortement fracturés,
- 3 - les fractures partiellement ouvertes non-associées à d'autres structures géologiques.

Une représentation synthétique de ces systèmes d'écoulement a été présentée dans de nombreux rapports de la CEDRA en vue de la caractérisation des mécanismes qui influencent le transport des nucléides (Nagra 1985, 1986).

Un schéma des trois types de structures aquifères (filons, zones déformées, fractures) et de leurs combinaisons, qui donnent naissance aux deux premiers types de zones d'écoulement, est illustré par la figure suivante.

En ce qui concerne ce travail, il est important de noter que le mouvement des eaux souterraines dans les roches cristallines a lieu le long de structures bien déterminées et souvent associées en groupe. L'écoulement se fait de plus non pas le long de surfaces régulièrement planes mais à la faveur de micro-chenaux interconnectés.

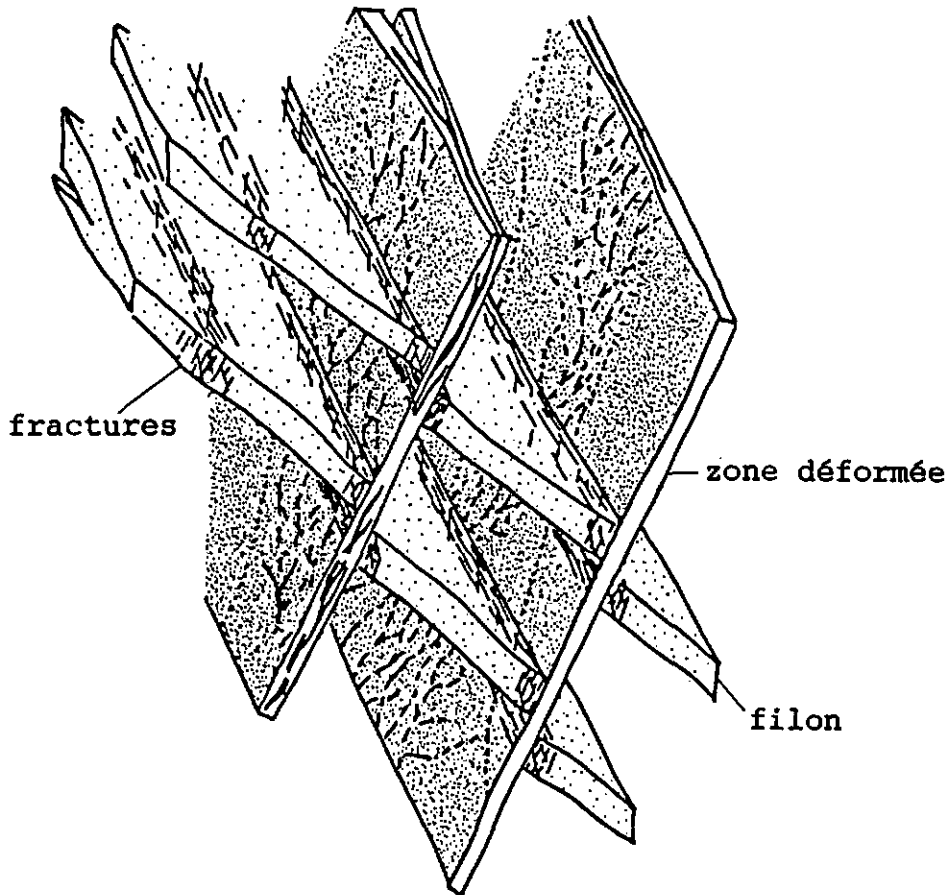


Fig. 2.3 Modèle conceptuel des zones d'écoulement associées aux filons et zone déformées dans les roches cristallines. (Nagra, 1985, 1986).

Les zones déformées, dont l'orientation est plus ou moins constante (fort pendage sud-ouest) et les filons forment donc un réseau d'écoulement compliqué. La constance du type d'eau et de la minéralisation des échantillons récoltés dans les forages de Boettstein, Kaisten et Leuggern parlent cependant en faveur d'un aquifère d'extension régionale où l'eau semble communiquer et circuler facilement, tout au moins le long des zones d'écoulement les plus perméables ($K \geq 10^{-8}$ m/s).

L'hypothèse du milieu interstitiel n'est valable que pour certaines couches sédimentaires. Dans les roches cristallines, les études de la porosité ouverte, réalisées à l'aide d'injection sous pression de mercure entre 1 et 2000 bar, ont montré que le granite frais se caractérise par une porosité de 0,2 à 0,8%.

Lorsqu'il est déformé et transformé par la phase hydrothermale, la porosité augmente jusqu'à 4%, principalement grâce à la microporosité secondaire développée par argilification des plagioclases. Ces mesures, décrites en détail dans les rapports de la CEDRA NTB 85-01 et 86-26, concernent la part de la porosité totale qui peut participer à l'écoulement. Elles ne tiennent ni compte de la porosité fermée, ni du fait qu'une partie de ce volume est soumis aux forces de capillarité. La porosité cinématique, paramètre essentiel dans les calculs hydrodynamiques, est donc en fait inférieure à ces valeurs. Il faut bien noter que, dans le cadre de ce travail, le type d'écoulement considéré en priorité a lieu non pas à l'intérieur de la matrice rocheuse mais le long des zones de fractures. Des valeurs de porosité cinématique moyenne de l'ordre de 1 et 3,3% ont été choisies en première approximation et sur la base des résultats décrits ci-dessus, pour caractériser la porosité sur la longueur totale des intervalles soumis aux échantillonnages, l'interprétation des tests étant basée sur l'hypothèse d'un milieu interstitiel homogène.

La validité des résultats obtenus peut également être limitée par les conditions techniques particulières liées à la réalisation des forages. En effet, la méthode d'interprétation proposée par Bear (1979) tient compte du volume de liquide tracé injecté dans l'aquifère. En ce qui concerne les périodes d'échantillonnage traitées ici, l'injection n'a pas été planifiée et contrôlée de manière précise. Ce sont en effet les fluides de forage qui jouent le rôle de liquide tracé, et il n'avait pas été prévu de les employer ainsi pour en déduire des informations sur les mécanismes de dispersion. Lors des activités de forage, les fluides (boue à bentonite, eau fraîche, eau déionisée) circulent sous pression entre le train de tige et la paroi du puits. Si cette pression hydrodynamique compense ou surpasse la pression hydrostatique naturelle, le fluide de forage est injecté dans la roche encaissante. L'injection des fluides de forage est donc dans la plupart des cas un phénomène irrégulier, dépendant des activités de forage.

Afin de restreindre au maximum l'influence de ce facteur lors de l'interprétation des résultats, les tests ont été choisis de telle sorte que l'histoire de l'intervalle avant la période d'échantillonnage soit la plus courte possible et bien connue.

Une des conditions importantes est liée à la nature du traceur employé. La théorie employée traite la réponse d'un traceur qui ne subit pas de réaction avec le milieu rocheux. Les fluides de forage sont marqués par les deux traceurs artificiels uranine et mTFMBA. Le premier a l'avantage d'être déterminé rapidement mais subit des phénomènes de sorption sur les argiles, tandis que le second est connu dans la littérature comme traceur non-sorbant et inerte. Les tests effectués dans le cadre du programme de forage ont montré que l'emploi d'eau déionisée ou de simple eau du réseau lors des activités de forage, permet de réduire les effets perturbateurs dus au mécanisme de sorption de l'uranine, particulièrement dans les roches cristallines, où la présence d'argile est minimale et où les fluides de forage ne s'enrichissent que très lentement en matière en suspension en raison de la dureté de la roche. De plus, les durées concernées par l'ensemble des opérations, c'est-à-dire entre la période de forage de l'intervalle et l'échantillonnage, sont assez courtes, pour que ces phénomènes de sorption, même s'ils ont lieu, ne jouent pas de rôle déterminant. Ceci est prouvé par le fait que la concentration des deux traceurs, aussi bien dans les fluides de forage que lors des échantillonnages, diminue parallèlement et obéit ainsi aux mêmes lois de dilution.

2.3.2 La dispersion hydrodynamique

Afin d'étudier la sécurité d'un dépôt de déchets radioactifs, il est indispensable de prédire le transport des substances dans le milieu géologique. Les périodes d'échantillonnage devraient donner l'occasion d'obtenir indirectement des renseignements sur ces mécanismes, puisqu'elles permettent de contrôler la restitution des traceurs préalablement injectés, c'est-à-dire transportés, dans l'environnement du forage.

En effet, toute substance injectée dans un écoulement en milieu saturé s'étend graduellement sous l'effet combiné:

- 1 - de l'advection (également nommée convection): entrainement du traceur par le mouvement du liquide
- 2 - de la dispersion mécanique: variation en intensité et en direction des vitesses à l'échelle microscopique

- 3 - de la diffusion moléculaire: déplacement des molécules sous l'effet des différences de concentration
- 4 - de la sorption: réaction entre la phase solide et la phase liquide
- 5 - d'éventuelles réactions chimiques ou de désintégration.

Dans la nature, les mécanismes de dispersion mécanique (2) et de diffusion moléculaire (3) sont étroitement liés. Ils ont ainsi été groupés sous le terme de dispersion hydrodynamique. En raison de ce phénomène de dispersion hydrodynamique, une substance dissoute n'est pas seulement transportée à une vitesse moyenne équivalente à celle de l'eau mais à tendance à s'étendre sous l'effet des variations de vitesse à l'échelle microscopique et des variations de concentration (gradient chimique).

Dans un milieu interstitiel ou fracturé ces différences de vitesse peuvent être causées par:

- 1 - la réduction de la vitesse par frottement à la surface des zones d'écoulement,
- 2 - les changements de vitesse en fonction de la section des zones d'écoulement,
- 3 - les divers cheminements autour des grains ou dans les différentes micro-chenaux (tortuosité).

La figure suivante illustre ces différents mécanismes.

Il s'en suit que lorsqu'une substance dissoute est entraînée par le mouvement de l'eau ou se répand dans la roche, la limite entre le liquide pur et le liquide tracé ne reste pas abrupte mais une zone de transition se développe au cours du temps.

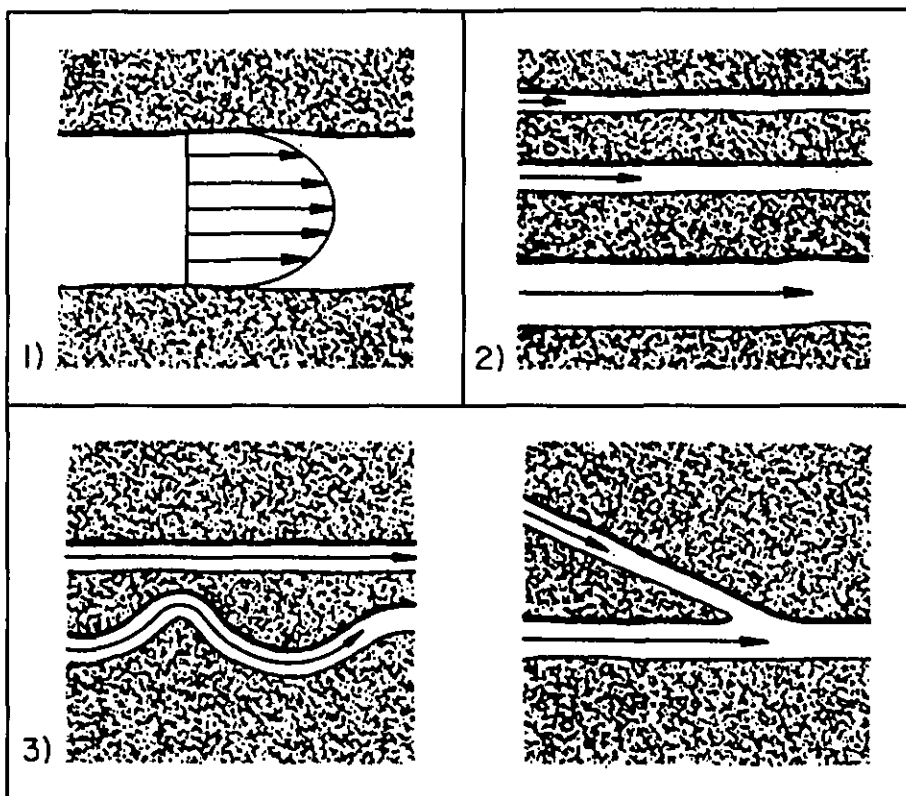
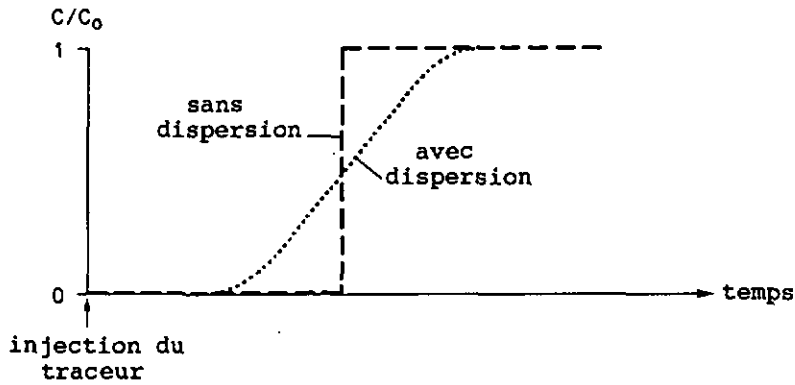


Fig. 2.4 Mécanismes de dispersion mécanique à l'échelle microscopique (Abelin, 1986)

L'expérience classique, utilisée pour illustrer ces résultats et décrite par exemple dans Freeze et Cherry (1979), fait appel à un apport continu de traceur de concentration constante C_0 dans un liquide qui s'écoule à débit constant à travers une colonne remplie de matériel à porosité intersticielle. Si tout le traceur se déplaçait à une vitesse moyenne égale à la vitesse cinématique de Darcy, on observerait une arrivée nette du fluide tracé de concentration C_0 à la sortie de la colonne après une certaine durée t . En fait, sous l'action des phénomènes de dispersion, une partie du fluide tracé se déplace plus rapidement, l'autre plus lentement que la partie qui se meut à la vitesse de Darcy.

Cet effet est présenté schématiquement ci-dessous:



C_0 : concentration initiale de traceur à l'entrée de la colonne
 C : concentration mesurée à la sortie de la colonne

Les scientifiques se sont attachés à exprimer mathématiquement la courbe de restitution d'un traceur en fonction du temps $C/C_0 = f(t)$ à un endroit donné.

Pour un milieu à porosité intersticielle et dont l'écoulement est uniforme, la relation qui tient compte pour un volume élémentaire des phénomènes d'advection, de dispersion et d'échange (réactions chimiques, radioactivité, etc.) avec le substrat se présente de la manière suivante:

$$\left[\begin{array}{l} \text{variation} \\ \text{de concen-} \\ \text{tration en} \\ \text{fonction} \\ \text{du temps} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{variation} \\ \text{de concen-} \\ \text{tration} \\ \text{due à la} \\ \text{dispersion} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{l} \text{variation} \\ \text{de concen-} \\ \text{tration} \\ \text{due à} \\ \text{l'advection} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{variation} \\ \text{de concen-} \\ \text{tration} \\ \text{due aux} \\ \text{échanges} \end{array} \right]$$

Cette équation est basée sur la loi de conservation de masse et a été décrite par de nombreux auteurs (Bear, 1979; Freeze et Cherry, 1979).

Si le traceur utilisé peut être considéré comme idéal, c'est-à-dire sans réaction avec le substrat solide et liquide ou autres réactions chimiques ou physiques, le troisième terme de l'équation disparaît et l'équation devient:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \text{div} (D \text{ grad } C) - \text{div} (C \cdot V)$$

(terme de dispersion) (terme d'advection)

où

C = concentration

D = coefficient de dispersion

V = vitesse effective (vitesse de Darcy/porosité cinématique)

2.3.3 Résolution de l'équation de dispersion hydrodynamique dans le cas de l'écoulement radial sans diffusion moléculaire par méthode analytique approchée

L'équation de dispersion hydrodynamique en milieu poreux saturé, homogène et isotrope a été résolue par méthode analytique pour des cas simples généralement uni-dimensionnels, par exemple dans le cas du mouvement d'un traceur à travers une colonne ou sur une surface planaire. Dès qu'il s'agit d'écoulement bi- ou tri-dimensionnels, c'est-à-dire dans la plupart des situations naturelles, il faut faire recourt aux méthodes numériques. Le traitement des systèmes fracturés anisotropes est encore plus complexe du point de vue mathématique.

Dans le cadre de ce travail, seule la résolution par méthode analytique a été abordée, en se basant sur l'hypothèse que le milieu considéré est suffisamment fracturé, pour qu'il puisse être assimilé à un milieu interstitiel. Le choix de ce type d'interprétation simplifié a été déterminé par le fait que, premièrement, les essais à disposition n'ont pas été menés spécialement dans le but d'étudier les phénomènes de dispersion et qu'il est difficile d'assurer la précision de certaines des données et que, deuxièmement, une solution approximative proposée par Mercado (1966) puis Bear (1979) a été employée pour traiter les résultats de tests semblables réalisés en Israël.

L'équation générale de dispersion hydrodynamique devient selon Bear (1979), si

- la symétrie est radiale, c'est-à-dire que la vitesse est constante sur chaque rayon autour du point d'injection,
- l'écoulement est planaire,
- le coefficient de dispersion D qui est lié au coefficient de dispersivité A et à la diffusion moléculaire D^* par l'équation

$$D = A \cdot V + D^*$$

est influencé uniquement par la dispersivité, c'est-à-dire que la diffusion moléculaire D^* est négligeable par rapport à la dispersivité ($D^* \ll A \cdot V$).

$$\frac{\partial C}{\partial t} = A_L V \frac{\partial^2 C}{\partial r^2} - V \frac{\partial C}{\partial r} \quad (1)$$

où

C = concentration de traceur (kg/m³)

t = temps (s)

A_L = dispersivité longitudinale (m)

V = vitesse effective (m/s)

r = distance entre les points d'injection et de mesure (m)

Cette dernière forme de l'équation de dispersion (1) se base sur deux hypothèses importantes:

- la dispersion des substances dissoutes obéit à la loi de Fick et est donc proportionnelle au gradient de concentration,
- la dispersion reste constante.

Comme la vitesse est constante sur chaque rayon, mais varie le long du chemin parcouru puisque l'écoulement est radial,

$$V = V(r) = \frac{Q_W}{2 \pi B n} \cdot \frac{1}{r},$$

où

Q_W = débit injecté (m³/s)

B = hauteur de l'aquifère (m)

n = porosité cinématique

L'équation de dispersion (1) n'est pas linéaire et une solution analytique exacte est des plus compliquées.

Dans le cas d'un écoulement divergent à partir d'un puits d'injection, Lau et al. (1959) proposent une solution analytique approximative pour la courbe de restitution d'un traceur dans un puits d'observation basée sur deux hypothèses:

- la dispersion du traceur, lorsqu'elle n'est pas influencée par les phénomènes d'advection, obéit à la loi normale, c'est-à-dire que la distribution du traceur varie alors comme une courbe de Gauss.
- la distribution du traceur est due à l'effet additionné de la dispersion longitudinale et de la divergence des lignes d'écoulement.

Bear (1979) a étendu cette approche à la période de pompage suivant une période d'injection. L'équation devient:

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left[\frac{r - \bar{r}}{\left[(4/3) A_L R \left[2(R/\bar{r})^2 - (r/R) \right] \right]^{1/2}} \right] \quad (2)$$

$$\text{avec } \bar{r}^2 = \frac{V_i - V_p}{Bn} \quad \text{et } R^2 = \frac{V_i}{\pi Bn}$$

où

erfc = fonction d'erreur complémentaire

C_0 = concentration initiale du traceur (kg/m^3)

r = distance entre les points d'injection et de mesure (m)

\bar{r} = rayon moyen de la zone tracée pendant la phase de pompage (m)

R = rayon moyen de la zone tracée pendant la phase d'injection (m)

V_i = volume injecté (m^3)

V_p = volume pompé (m^3)

Mercado (1966) emploie la pente de la courbe de restitution à la valeur de C/C_0 égale à 50 % pour en déduire la dispersivité longitudinale selon la relation suivante:

$$\left. \frac{d(C/C_0)}{dV_p} \right|_{r=\bar{r}} = \frac{1}{V_i^{3/4} \sqrt{\frac{16\pi^{3/2}}{3}} \sqrt{A_L (B \cdot n)^{1/2}} \sqrt{2 - \left(1 - \frac{V_p}{V_i}\right)^{3/2}}} \quad (3)$$

Lorsque le volume pompé est égal au volume injecté $V_p/V_i = 1$, et que $\bar{r} \rightarrow 0$, c'est-à-dire que le rayon moyen de la zone tracée tend vers zéro pendant la phase de pompage suivant l'injection dans un puits unique, la pente de la courbe tend vers une valeur limite donnée par:

$$\left. \frac{d(C/C_0)}{dV_p} \right|_{\bar{r}=0} = \frac{1}{V_i^{3/4} \sqrt{\frac{32\pi^{3/2}}{3}} A_L (Bn)^{1/2}} \quad (4)$$

Selon l'hypothèse que la distribution du traceur obéit à la loi normale, le taux de restitution est équivalent à 50% lorsque le volume injecté est égal au volume pompé. La pente de la courbe de restitution à la valeur $C/C_0 = 50\%$ correspond alors à la valeur limite définie par l'équation (4).

La pente m de la tangente à la courbe $C/C_0 = f(V_p)$, c'est-à-dire $d(C/C_0)/dV_p$, pour la valeur de C/C_0 égale à 50% a une valeur bien particulière qui équivaut à $1/\Delta V_p$, comme l'illustre la figure suivante:

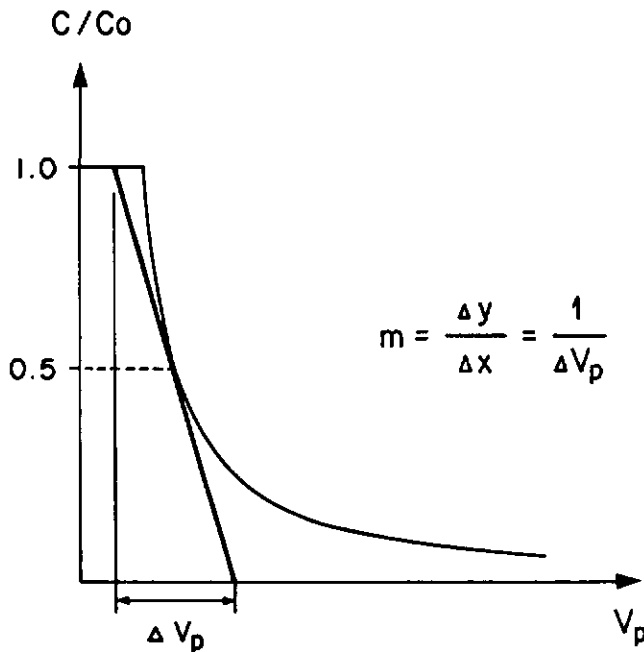


Fig. 2.5: Exemple d'emploi de la courbe de restitution d'un traceur en fonction du volume pompé pour déterminer le paramètre ΔV_p , nécessaire à la résolution de l'équation de dispersion simplifiée.

L'équation (4) devient alors:

$$A_L (Bn)^{1/2} = \frac{3}{32 \pi^{3/2}} \sqrt{v_i} \left(\frac{\Delta V_p}{v_i} \right)^2$$

La dispersivité longitudinale peut être déduite de cette relation connaissant le volume injecté, la porosité effective et la hauteur de l'aquifère.

3 SITUATION REGIONALE

Les six forages se situent sur un territoire relativement restreint d'environ 400 km² dans le nord de la Suisse, à l'intérieur d'un triangle situé au sud du Rhin et dont les sommets sont constitués par les villes d'Eglisau au N-E, de Laufenburg au N-W et d'Aarau au S-W. La situation géographique et tectonique des forages est illustrée par l'annexe 3.1.

3.1 Géologie

La région d'investigation s'étend de la bordure nord du Jura tabulaire jusqu'au bassin molassique, au pied de la chaîne jurassienne. Les forages se situent plus précisément à:

- Kaisten et Leuggern, en bordure nord du Jura tabulaire,
- Boettstein, au coeur du Jura tabulaire,
- Riniken, à la limite entre le Jura tabulaire et plissé,
- Weiach, à la limite entre le Jura tabulaire et le bassin molassique
- Schafisheim, au sud du Jura plissé, en bordure du Plateau.

Afin de donner un aperçu du cadre géologique et tectonique de cette étude, les principales unités géologiques qui apparaissent dans la région sont décrites ci-dessous:

- le socle granitique et gneissique de la Forêt noire,
- le fossé permo-carbonifère du nord de la Suisse,
- le Jura tabulaire et le Jura plissé,
- le bassin molassique,
- les dépôts de moraines et graviers quaternaires.

De plus amples informations sont à disposition dans les rapports NTB 84-15 de Sprecher, Müller (1986), NTB 84-25 de Müller et al. (1984) et NTB 84-26 de Diebold, Müller (1985).

Note:

Les noms lithostratigraphiques n'ont pas été traduits en français car ils transmettent une information régionale liée aux faciès du nord de la Suisse.

Le socle cristallin de la Forêt noire affleure principalement au nord du Rhin et disparaît au sud sous les sédiments du Jura tabulaire. A l'exception de la surface occupée par le Jura plissé, qui correspond environ à l'extension du fossé permocarbonifère, la surface du socle est caractérisée par un léger pendage de 4° vers le SE. Il est formé d'un ensemble de différents blocs séparés par des zones de faille anciennes et souvent réactivées. Les gneiss et anatexites dominent dans la région du Rhin, tandis que les granites et roches intrusives sont prépondérants dans les forages situés plus au sud.

Les gneiss de la Forêt noire montrent à certains endroits les empreintes de l'orogénèse calédonienne (500-400 x 10⁶ ans): larges structures plissées, schistosité, étroites zones de cisaillement à déformation ductile. Ces gneiss ont été ensuite déformés pendant l'orogénèse varisque ou hercynienne (360-260 x 10⁶ ans), le long des anciennes zones de faiblesse. Des zones de faille qui peuvent atteindre une centaine de mètres de largeur, bordent ainsi des blocs relativement stables de 3 à 15 km de côté. Ces blocs continueront d'être déplacés jusqu'à nos jours, sans subir de fortes déformations internes.

L'orogénèse varisque se marque dans la région d'investigation par:

- une phase de compression caractérisée par une tectonique à mouvements coulissants, comme le prouve les déplacements dextres le long des zones de Vorwald et Eggberg (voir annexe 3.1), qui décalent la bordure nord du fossé permocarbonifère et à laquelle sont associées plusieurs générations d'intrusions de granites et filons, ainsi qu'une déformation surtout cataclastique des roches accompagnée d'un faible métamorphisme,
- pendant le Carbonifère supérieur et le Permien, l'apparition d'une phase extensive avec approfondissement de fossés, volcanisme et filons hydrothermaux,
- la formation d'une pénéplaine à la limite permotriasique.

Une nouvelle période d'activité intense, en relation avec la formation des Alpes, s'étend de l'Eocène moyen au Pliocène. Le massif de la Forêt noire fut soulevé et de nombreuses zones de faille

se développèrent ou furent réactivées dans le socle cristallin ou la couverture sédimentaire (par exemple le long des bordures du fossé permo-carbonifère).

Certaines de ces zones continuent d'ailleurs d'être actives aujourd'hui. Le plissement du Jura, cité ci-dessous, est probablement lié à la dernière phase marquante de l'orogénèse alpine et a débuté il y a environ 11×10^6 ans.

Le socle cristallin est bouleversé par un fossé d'orientation ENE-WSW, de 10 à 12 km de large et jusqu'à 3 km de profond, rempli de dépôts permo-carbonifères et limité par de grandes failles normales. Les bordures se situent au sud sous la chaîne externe du Jura (Zeiher Homberg-Lägeren) et au nord sous le chevauchement de Mandach (situation voir annexe 3.1). Son extension axiale n'est pas encore définie mais deux compartiments à sédimentation différente s'individualisent au niveau d'une faille normale (probablement la faille de Vorwald). Deux cycles de déposition continentale, différents dans le temps et l'espace semblent se superposer:

- le fossé permo-carbonifère au sens strict à sédimentation fluviatile et lacustre et indice de volcanisme,
- au-delà des limites des séries précédentes et en discordance, les dépôts du Permien supérieur. L'épaisseur des produits d'érosion du socle varisque, accumulés sous climat semi-aride à aride, dépasse 1000 m. dans le forage de Riniken.

Le Jura tabulaire représente la couverture autochtone du massif de la Forêt noire. Il est formé de dépôts permien, triasiques, jurassiques et tertiaires. Les sédiments mésozoïques à faible pendage vers le S-SE montrent cependant un faible plissement et des pendages jusqu'à 25° en bordure de Jura plissé. Jusqu'à la zone déformée de Mandach, le Jura tabulaire subit les effets de la poussée vers le nord liée à l'orogénèse alpine. L'horizon de décollement est également formé par les anhydrites du Trias mais l'amplitude du mouvement y est moindre par rapport au raccourcissement total de la chaîne jurassienne. A l'exception de la faille normale de Mandach, la base du Jura tabulaire ne montre pas d'accidents tectoniques de l'ordre de quelques décimètres à hectomètre qui auraient pu être la cause de chevauchements importants de la couverture sédimentaire pendant le plissement jurassien, comme c'est le cas pour le Jura plissé.

A l'extérieur du domaine d'influence alpin, s'individualise l'anticlinal de Mettau à flanc N-W chevauchant sur le coeur. Il fut probablement créé avant la formation du Jura par un mouvement gravitativ en relation avec la poussée miocène de la Forêt noire.

Le **Jura plissé**, équivalent du Jura tabulaire, fut déformé principalement à la fin de l'orogénèse alpine, mais des mouvements se sont poursuivis jusqu'à nos jours.

Il doit sa morphologie à l'influence:

- des failles normales post-permiennes du socle cristallin situées en bordure du fossé permio-carbonifère et qui furent la cause des grands chevauchements,
- du comportement différencié des séries calcaires, des argiles et des évaporites du Trias sous les conditions de faible température ($T < 100\text{ }^{\circ}\text{C}$), pression ($P < 30\text{ MP}$) et les taux de déformation (10^{-13} s^{-1}) calculés,
- de la poussée d'origine alpine, créée probablement par le chevauchement des massifs de l'Aar et Gastern sur le socle. Le niveau de décollement est localisé au niveau des anhydrites du Trias.

3.2 Hydrogéologie

Du point de vue des écoulements souterrains, l'exutoire des séries mésozoïques est créé par l'érosion toujours plus profonde de l'Aar, tandis que le socle cristallin n'est coupé par le Rhin qu'après Koblenz.

L'interprétation des données hydrochimiques fournies par les six forages a été traitée en détail par Schmassmann et al. (1984). L'étude des interactions entre la roche encaissante et les eaux fait l'objet de deux rapports préparés par Pearson NTB 85-05 (1985) et NTB 86-19 (en préparation).

Comme la compréhension des systèmes d'écoulement régionaux et des temps de résidence des eaux souterraines ne jouent pas de rôle dans le cadre de ce travail, seules les caractéristiques hydrogéologiques et hydrochimiques des principales unités lithologiques concernées sont décrites ci-dessous.

Les annexes 3.2 à 3.7 illustrent pour chacun des six forages, les profils géologiques, l'emplacement des intervalles échantillonnés, ainsi qu'une caractérisation succincte des différents types d'eau rencontrés (définition voir note ci-dessous) et de leur minéralisation totale. L'annexe 3.2 bis présente de plus une partie de la colonne stratigraphique du forage de Weiach afin que les noms de formation puissent être situés plus précisément dans la série sédimentaire que dans les profils synthétiques des annexes 3.2 à 3.7.

- La Molasse d'eau douce inférieure se compose d'une alternance de marnes, grès et silts à perméabilité de milieu poreux ainsi que fracturé dans les horizons sableux. Dans le forage de Schafisheim, elle renferme des eaux de type Na-Cl et de minéralisation totale de 300 mval/l (8.8 g/l).
- Une longue série de calcaires marneux, de marnes et d'argiles déposés pendant l'Oxfordien, le Dogger, le Lias, ainsi qu'une partie du Keuper supérieur, forment un ensemble relativement peu perméable.
- La base du Keuper supérieur est par contre occupée par les couches dolomitiques et gréseuses de la dolomie de Gansingen et du Schilfsandstein qui peuvent être aquifères, à l'exemple du forage de Riniken où une eau à minéralisation totale d'environ 15 g/l (470 mval/l) et de type Na-(Ca)-SO₄-Cl a pu être échantillonnée.
- Le Keuper moyen est formé d'une suite de marnes, argiles, gypse et anhydrites très peu perméables (Gipskeuper) mais fréquemment karstifié, lorsque le gypse se trouve proche de la surface.
- L'aquifère du Muschelkalk supérieur au sens large (Trigonodusdolomit, Plattenkalk, Trochitenkalk) est constitué de dolomies et calcaires dolomitiques à forte perméabilité de fracture et porosité secondaire développée par dissolution et karstification. Il inclut également le Keuper inférieur (Lettenkohle) et les horizons supérieurs

Note:

Les types d'eau sont définis à partir des composants ioniques principaux. On calcule séparément la somme des cations et des anions en mval/l. Seuls les ions à proportion supérieure à 10 mval/l-‰ sont cités. Les ions représentés entre 10 et 20 mval/l-‰ sont mis entre parenthèse, ceux qui apparaissent à plus de 50 mval/l-‰ sont soulignés.

dolomitiques du Groupe de l'Anhydrite du Muschelkalk moyen. D'importance régionale, il est l'aquifère le mieux documenté du point de vue chimique. Les eaux qu'il renferme sont le produit d'une dissolution plus ou moins avancée du gypse et de la dolomie couplé de précipitation de calcite (Incongruent dissolution), souvent en présence de méthane, gaz carbonique et gaz sulfureux.

Les eaux échantillonnées dans le cadre de cette étude évoluent entre le pôle "eau proche de la surface ou à mélange d'eau de surface" de type $\text{Ca-Mg-SO}_4\text{-HCO}_3$ à faible minéralisation (env. 33 mval/l ou 1.2 g/l) rencontré à Leuggern et le pôle "eau profonde à saturation de calcite, dolomie, gypse et anhydrite." de type Na-(Ca)-Cl-SO_4 à forte minéralisation (env. 500 mval/l ou 15 g/l) trouvé à Riniken et Schafisheim.

- Le Muschelkalk moyen (Groupe de l'Anhydrite) et inférieur forment à nouveau une série très peu perméables à argiles, gypse, anhydrite, brèches, dolomies, marnes dolomitiques et parfois couches de sel.
- Le Buntsandstein, généralement gréseux, voit sa perméabilité diminuée vers le sud en raison de l'augmentation des minéraux argileux. Son caractère hydrochimique est influencé par la présence du socle cristallin ou des dépôts permo-carbonifères sousjacents.
 - . Les plus faibles minéralisations (env. 60 mval/l ou 2 g/l) de type $\text{Na-Cl-(HCO}_3\text{)-(SO}_4\text{)}$ ou $\text{Na-Cl-SO}_4\text{-(HCO}_3\text{)}$ se trouvent dans les forages de Boettstein et Leuggern au nord du fossé permo-carbonifère, en contact avec les eaux du socle cristallin.
 - . A Schafisheim, les échantillonnages ont montré la même similitude entre les eaux du Buntsandstein et du cristallin, type Na-(Ca)-Cl-SO_4 , mais des minéralisations beaucoup plus élevées (500 mval/l ou 16 g/l).
 - . Les forages situés sur le fossé permo-carbonifère ont livré des eaux à minéralisation moyenne (210 mval/l ou 7 g/l à Kaisten) à forte (440 mval/l ou 15 g/l à Weiach) et de types quelque peu différents: Na-Ca-Cl-SO_4 ou Na-(Ca)-Cl-SO_4 ou $\text{Na-(Ca)-SO}_4\text{-Cl}$.

- Les importantes accumulations permo-carbonifères se caractérisent par une suite de grès silteux, argiles, arkoses, conglomérats et même charbons où la circulation des eaux est liée principalement aux fractures. Les forages de Weiach et Riniken ont livré des eaux fortement minéralisées (env. 500 à 3400 mval/l ou 16 à 100 g/l) de type Na-Cl ou Na-Ca-Cl ou Na-Cl-(SO₄) selon les cas.
- Le socle cristallin, formé de gneiss, anatexites, granites et nombreux filons, est drainé selon les fractures et les zones déformées.
 - . Dans les forages situés au nord du fossé permo-carbonifère (Boettstein, Kaisten, Leuggern), les intervalles à perméabilité dépassant 10^{-8} m/s ont tous fourni des échantillons à minéralisation relativement faible (30-40 mval/l ou 1,5 g/l) et une composition de type Na-SO₄-HCO₃-(Cl)
 - . Des eaux à minéralisation plus élevée (210-270 mval/l ou 6,5 - 8,5 g/l) se trouvent à Weiach, type Na-Cl, et Schafisheim, type Na-(Ca)-Cl-SO₄ ou Na-Cl-(SO₄)-(HCO₃). Deux segments, situés à Boettstein et Leuggern dans des roches à perméabilité inférieure à 10^{-9} m/s, ont fourni des eaux de même type.
 - . Le forage de Leuggern se distingue par l'occurrence d'une eau à chimisme peu rencontré, type Na-Ca-SO₄ et à minéralisation minimale de 5 g/l (140 mval/l), dont l'origine est encore discutée.

4. CADRE TECHNIQUE

Les différentes profondeurs des six forages, ainsi que la puissance variable de la série sédimentaire traversée, ont conduit à l'élaboration de programme de forage adaptés aux techniques de forage et à leur optimisation, mais aussi aux buts scientifiques recherchés.

Pour des raisons pratiques, les activités menées sur le forage ont été divisées en deux phases:

- la phase de forage proprement-dite pendant laquelle les échantillonnages ont eu lieu, la plupart du temps, directement après le percement des intervalles,
- la phase de test, consacrée exclusivement aux essais scientifiques. Les échantillonnages s'y sont déroulés après que les forages aient pu subir de nombreuses influences, comme par exemple des périodes de débit artésien, de pompage, des circulations de fluide, qui ont eu un rôle pendant les phases de nettoyage des intervalles.

4.1. Méthodes de forage

Les forages, en grande partie carottés, ont été effectués selon le principe Rotary et par les techniques conventionnelles, excepté à Kaisten et Leuggern dans les roches cristallines, où la méthode wire-line a fourni de meilleurs résultats quant à la qualité des carottes. Elle a par contre causé un accroissement des pertes de fluide. En effet, cette technique s'accompagne d'une diminution de l'espace compris entre la paroi du sondage et le train de tige, à l'intérieur duquel le carottier est remonté par un câble. Lors des périodes de circulation des fluides de forage, les parois du puits sont ainsi soumises à une augmentation de la pression hydrodynamique en comparaison de la pression provoquée lors de forage par les méthodes conventionnelles.

4.2. Fluides de forage

Les fluides employés lors des activités de forage, jouent un rôle important lors des périodes d'échantillonnages puisqu'ils sont la source d'une pollution des eaux souterraines et qu'il faut les

éliminer au maximum avant les prélèvements pour les analyses hydrochimiques définitives.

Les boues à bentonite, normales ou salées, ont été utilisées dans les roches sédimentaires. La boue à bentonite normale se compose de l'argile mélangée à l'eau du réseau et additionnée de carboxyméthylcellulose, d'hydroxyde et de carbonate de sodium et de solvant, tandis que la boue à bentonite salée comprend en plus un mélange de bentonite et d'argiles spéciales, du sel industriel et d'autres additifs, type amidon.

L'usage d'eau déionisée s'est par contre révélé préférable du point de vue scientifique dans les roches cristallines. Elle a été fournie par les centrales nucléaires de Beznau et Leibstadt. Au cours des activités de forage, elle s'est bien entendu enrichie en particules fines, arrachées aux roches par l'action du trépan, et en gaz carbonique, lors de la circulation dans les réservoirs de surface, de telle sorte que son contenu en ions dissous s'est vu augmenter (principalement le sodium, potassium, calcium, magnésium, les carbonates, sulfates et le chlore).

4.2.1. Emploi des types de fluide dans les forages

L'utilisation des différents fluides de forage dépend des conditions techniques, géologiques et hydrogéologiques et peut être résumée ainsi:

- La boue à bentonite normale a été employée dans les dépôts quaternaires et tertiaires, ainsi que dans les roches du Jurassique, jusqu'au sommet du Muschelkalk supérieur, où un tubage définitif fut installé.
- Le forage de l'aquifère du Muschelkalk supérieur, réalisé à l'aide de boue à bentonite normale à Boettstein, Weiach et Riniken, s'accompagna de pertes de fluide qui compliquèrent les tests hydrauliques et les échantillonnages. Pour éviter ces problèmes, l'eau du réseau fut utilisée, avec succès, à Schafisheim et Leuggern.
- Le percement du Muschelkalk moyen a été effectué avec une boue à bentonite salée, en raison de l'occurrence des dépôts de sel du Gipskeuper. Cette

boue relativement dense et minéralisée entra donc également en contact avec les roches du Muschelkalk supérieur, non-préservées par un tubage définitif, ainsi que les couches sous-jacentes (Muschelkalk inférieur, Buntsandstein et socle cristallin) jusqu'à l'installation d'un nouveau tubage définitif.

- Les résultats peu concluants obtenus à Boettstein lors des échantillonnages du Buntsandstein et de la zone d'altération du socle cristallin, en raison de la pollution par la boue salée, ont poussé à la recherche d'une amélioration technique. Un tubage temporaire fut ainsi installé au sommet du Buntsandstein et permit l'emploi d'eau déionisée pour le percement de cet important aquifère.
- Bien entendu, dès que ce tubage fut retiré, pour continuer le forage dans les dépôts permo-carbonifères ou le socle cristallin, la boue salée a de nouveau envahi le puits. A Weiach par contre, où les dépôts de sel ne sont pas représentés dans le Muschelkalk moyen, la boue à bentonite normale pu être tout de suite réutilisée. A Riniken, après avoir perdu plus de cent mètres-cubes de boue salée dans une zone de fracture du Permien et rendu l'interprétation des analyses difficile, les parties critiques du forage furent cimentées et les travaux continués à l'aide de boue à bentonite normale.
- Après l'installation d'un tubage définitif au sommet des roches cristallines, les boues furent circulées à l'intérieur du forage et remplacées par l'eau déionisée. Dans les forages de Boettstein, Kaisten et Leuggern, les eaux souterraines sous pression ont pu s'écouler par le forage et remplacer peu à peu l'eau déionisée.
- A Kaisten, la colonne sédimentaire mésozoïque ne débute qu'au Muschelkalk inférieur. A la suite des essais positifs précédents, l'emploi d'eau du réseau fut donc généralisé, avant le passage à l'eau déionisée dans les roches cristallines.

4.2.2. Marquage des fluides de forage par traceurs artificiels

Les deux traceurs artificiels (uranine et mTFMBA, acide métatrifluorméthylbenzoïque) ont été ajoutés en quantité connue aux fluides de forage et mesurés en continu au cours des activités. Avant chaque échantillonnage, il a donc été possible de déterminer leur concentration moyenne, dite de référence, dans les liquides qui se mélangeaient aux eaux souterraines. Pendant les périodes de nettoyage des intervalles, leur mesure a permis de calculer quel pourcent de fluide de forage était encore inclus dans les eaux pompées.

4.2.3 Influence des liquides de forage

Les fluides de forage sont la principale cause de pollution des eaux souterraines. Les problèmes liés à l'introduction de matières et fluides étrangers au milieu souterrain ont déjà été soulevés par les rapports techniques NTB 85-04 de Kussmaul, Antonsen (1985), NTB 85-05 de Balderer (1985), NTB 85-06 de Pearson (1985) et NTB 85-07 de Haug (1985). La plupart des phénomènes décrits - pollution par les lubrifiants, le ciment ou les tubages, dégazage, refroidissement, contact avec les gaz atmosphériques - ne jouent pas de rôle dans le cadre de ce travail.

Haug (1985) décrit par contre également l'organisation, les méthodes de travail et de mesure du service responsable de la surveillance des fluides (Motor Columbus Ing.), au cours du forage lui-même ou pendant les périodes d'échantillonnage. Certaines de ces données sont importantes pour la compréhension des mécanismes qui régissent les périodes d'échantillonnage et seront citées au chapitre 6.1.

L'historique de chacun des intervalles échantillonnés, ainsi que la détermination de la qualité des prélèvements, traités en détail par le rapport NTB 85-49, ont déjà montré de manière qualitative le rôle primordial de la quantité, ainsi que de la qualité des fluides de forage en contact avec les eaux souterraines, pour le déroulement des périodes d'échantillonnage. Les mélanges de ces deux types d'eaux, eau de forage et eau souterraine, ont lieu principalement lors des pertes de fluide occasionnées par les activités de forage.

4.2.3.1 Les pertes de fluide de forage

Les quantités perdues dépendent des méthodes de forage, citées au paragraphe 4.1.1, mais aussi,

- . de la perméabilité des roches,
- . du rapport entre le potentiel hydraulique des horizons traversés et celui de la colonne de liquide de forage,
- . du temps écoulé entre le percement d'un intervalle et l'échantillonnage.

Bien entendu, ces facteurs se combinent différemment dans les six forages, de sorte que chaque échantillonnage est influencé par d'autres conditions initiales.

En raison des conditions de mesure, décrites au paragraphe 6.1.1, des pertes n'ont pu être enregistrées que lorsque la perméabilité des roches s'élève au-dessus de 10^{-9} m/s. A Boettstein cependant, aucune perte n'a été notée dans les roches cristallines, malgré que la perméabilité de certaines zones du forage dépasse 10^{-7} m/s. Le potentiel hydraulique se situe en effet au-dessus du niveau du terrain et contrecarre les effets des fluides de forage. A l'état statique, les pressions hydrostatiques sont mêmes assez élevées pour que les eaux souterraines s'écoulent par le forage. A Schafisheim, par contre, où les conditions géologiques et techniques sont très semblables, mais où le potentiel hydraulique reste environ 50 m au-dessous du sol, d'importantes pertes de fluide ont compliqué les échantillonnages.

Dans les roches sédimentaires, les pressions causées par les boues à bentonite, de densité 1,1 à $1,3 \text{ g/cm}^3$, sont déjà suffisantes à l'état statique pour compenser les potentiels mesurés au cours des six forages et occasionner un accroissement des pertes de fluide.

Malgré des potentiels hydrauliques au-dessus du niveau du sol, le percement des roches cristallines de Kaisten et Leuggern s'est accompagné de fortes pertes, en raison de l'augmentation de la pression hydrodynamique liée à l'emploi de la méthode wire-line.

Ces perturbations des écoulements souterrains continuent de plus d'agir tout au long des activités de forage, de telle sorte qu'un échantillonnage réalisé quelques semaines, voir quelques jours, après le percement de l'intervalle considéré a duré dans la plupart des cas notamment plus longtemps que s'il avait été effectué sans délai. Par exemple à Kaisten: profondeur moyenne 656 m, et à Schafisheim: profondeur moyenne 1980 m., la pollution par les fluides de forage n'a pas pu être réduite à moins d'environ 10%. Malgré des périodes de nettoyage prolongées, la pollution des eaux souterraines est donc restée supérieure à la valeur moyenne de 1% qui a été atteinte pour la plupart des échantillonnages.

4.2.3.2 Le type de fluide de forage

Comme cité ci-dessus, les différents types de fluides, employés au cours de la campagne de forage, jouent aussi un rôle important lors des échantillonnages. Par exemple, les argiles d'une boue à bentonite ont tendance à colmater les fissures, une boue à forte concentration de sel, dont une part minime perturbe encore de manière déterminante les contenus en sodium et chlore des échantillons, a des effets bien plus persistants que ceux des fluides de forage composés d'eau déionisée ou d'eau du réseau.

Le rôle du type de fluide change donc en fonction des problèmes posés:

- Le chimisme et particulièrement les teneurs en sel du fluide de forage interviennent lors du traitement des analyses, puisque l'importance des corrections est très variable, si les eaux souterraines sont polluées par une eau déionisée ou une quantité égale de boue.
- La densité des fluides de forage influence non seulement les quantités de pertes, mais aussi les phénomènes de mélange à l'intérieur du système de prélèvement et agit ainsi sur le déroulement des échantillonnages.
- Les mesures de traceurs artificiels sont faussées par la présence d'argiles (sorption) et autres substances parasites - additifs, oxydes de fer - (apparition de pic sur le chromatographe à l'endroit du traceur, coloration de l'échantillon assimilée à tort par le colorimètre à une fluorescence). La détermination de la qualité des échantillons n'est dans ce cas pas représentative de la pollution par les fluides de forage.

4.3 Déroulement des échantillonnages

Dans la plupart des cas, les intervalles choisis pour fournir des échantillons hydrochimiques ont été isolés du reste du puits par un système d'obturateur (packers) relié à la surface par un tubage. L'annexe 4.1 présente schématiquement un tel système. Une description des différentes unités est donnée par exemple dans le rapport NTB 85-01, NAGRA (1985), dédié aux résultats du forage de Boettstein. Les tests hydrauliques (pulse et slug tests) précèdent en général les opérations d'échantillonnage. Ils fournissent une première estimation de la perméabilité et du potentiel hydraulique de la zone considérée et renseignent ainsi sur les moyens adéquats de procéder au prélèvement des eaux souterraines. La prise d'échantillon proprement dite ne peut avoir lieu qu'après la phase de nettoyage de l'intervalle, pendant laquelle les fluides contenus dans les tubages, entre les obturateurs et éventuellement dans la roche elle-même, à la suite de pertes, sont remplacés par les eaux souterraines.

Les différentes méthodes employées pour effectuer ce nettoyage et le prélèvement des échantillons sont décrites dans le rapport NTB 85-07, Haug (1985). Leurs avantages et inconvénients sont également discutés dans les rapports NTB 85-04 de Kussmaul, Antonsen (1985), 85-05 de Balderer (1985) et 85-06 de Pearson (1985), de telle sorte qu'il n'en sera pas fait mention ici.

4.3.1 Intervalles échantillonnés

Sous les dépôts quaternaires, les aquifères connus par les études régionales ont été soumis à des tests hydrauliques puis à des échantillonnages, si les perméabilités mesurées le permettaient. Les intervalles ont été choisis dans les roches du socle cristallin en fonction des relevés de carotte et des changements de pertes de fluide de circulation ou de débit artésien.

- Les aquifères principaux du Muschelkalk supérieur et du Buntsandstein ont été échantillonnés dans tous les forages.
- Une zone dans la Molasse d'eau douce inférieure à Schafisheim, le Malm à Weiach et le Schilfsandstein à Riniken ont fourni des données hydrochimiques de bonne qualité.

- Deux intervalles de la série permo-carbonifère ont pu être testés à Weiach et à Riniken.
- Les conditions propres à chaque forage ont limité les programmes dans les roches cristallines. Les zones relativement les plus perméables ($k = 10^{-5} - 10^{-8}$ m/s) ont d'abord été échantillonnées puis s'y sont ajoutés des intervalles à perméabilité plus faible ($k = 10^{-9} - 10^{-11}$ m/s).

Les annexes 4.2a et 4.2b donnent la liste des intervalles et montrent que certains segments ont subi plusieurs tests (pour obtenir des valeurs de comparaison ou améliorer la qualité des données déjà obtenues).

4.3.2 Systèmes d'isolation des intervalles

Les intervalles choisis ont été isolés du reste du forage par un (si le fond du forage forme l'extrémité inférieure de l'intervalle) ou deux obturateurs. Si un tubage définitif (casing) a été installé au sommet de la zone d'écoulement, la période de nettoyage a parfois été réalisée sans packer. L'intervalle est relié à la surface par un tubage de diamètre variable selon que l'emploi d'une pompe est possible ou non. Les volumes compris dans le système de prélèvement varient de 2 à 10 m³, hormis quelques exceptions et lorsque les tests ont été réalisés dans les casings.

Les senseurs de pression situés au-dessus de la zone permettent de contrôler qu'aucune communication hydraulique n'existe entre l'intervalle et le reste du forage. Un système de valve permet de couper ou mettre en contact la zone d'écoulement et les tubages (voir annexe 4.1).

4.3.3 Méthodes de nettoyage des intervalles

Pendant les tests hydrauliques qui précèdent les nettoyages, le niveau de l'eau est varié dans les tubages à l'aide du "swabbing tool", (voir note page suivante). Durant les phases d'écoulement, de l'eau souterraine est donc évacuée et les volumes ainsi déplacés ne peuvent pas être négligés lors du traitement des données. Le nettoyage de l'intervalle proprement-dit débute en général par une action de swabbing qui permet d'obtenir des débits

plus élevés qu'avec les pompes, vu les rabattements possibles (en moyenne 300-400 m, maximum 800 m). Une pompe immergée est ensuite installée, afin de pouvoir contrôler l'évolution des traceurs en continu et procéder aux échantillonnages en surface à l'aide d'une armature qui prévient le contact avec l'atmosphère. Dans bien des cas, des pannes ont obligé à passer d'une méthode à l'autre. Quelques intervalles ont même pu fournir des échantillons sous l'effet de l'écoulement artésien naturel. Au contraire, lors de faibles perméabilités, les pompes n'ont pas pu être employées et des bouteilles échantillonneuses ont été descendues à l'intérieur des tubages, après avoir rabattu le niveau d'eau avec l'appareil à swabbing.

Note:

Pour accélérer le nettoyage des intervalles et surtout remplacer les boues à bentonite par des eaux claires, avant l'installation des pompes, le niveau d'eau dans les tubages fut rabattu grâce à un appareil nommé swabbing tool. Une rosette métallique est descendue à l'aide d'un câble; lors de sa remontées, elle se colle au parois du tubage et fait office de piston.

5 Les données

La préparation du rapport NTB 85-49 a permis de rassembler, avec la collaboration de Motor Columbus Ing., une foule d'informations conservées sous la forme d'une documentation, dont un exemple est présenté en annexe du-dit rapport.

D'après les observations de terrain, le déroulement des échantillonnages est influencé directement ou indirectement par les facteurs suivants:

- le type de fluides de forage
- la durée et la quantité des pertes de fluide ou des débits artésiens pendant les activités qui se sont déroulées entre le moment du percement de l'intervalle et le début du test
- la perméabilité de la zone
- les volumes compris dans le système de prélèvement

et bien entendu les débits extraits de la roche par pompage ou puisage.

Lors de la rédaction du rapport NTB 85-49, une grande partie des données nécessaires à cette seconde étude avait déjà été traitée, tout au plus de manière qualitative. Il a cependant fallu les compléter, préciser et corriger. Une partie des ces données est présentée sous la forme de tableaux qui seront décrits au paragraphe 5.1.

Les données de base traitées proviennent des compagnies suivantes, chargées de travaux de terrain pour le compte de la CEDRA:

- Motor Columbus Ing. (paramètres hydrochimiques et traceurs artificiels, débits pendant les échantillonnages)
- Gartner et Lee AG (test hydrauliques)
- Bureau Dr. H.J. Schmassmann
(essais de pompages du Muschelkalk supérieur)
- Bureaux géologiques Dr. H. Jäckli AG,
P. Kellerhals et Ch. Haefeli, Geotest AG,
Geotechnisches Institut
(contrôles du niveau d'eau dans les forages, débits artésiens, relevés géologiques)

Il s'y ajoute les données compilées à partir des rapports journaliers des compagnies de forage SAD (Stump Bohr AG, H. Anger's Söhne, Deutag) et DST (Deutsche Schachtbau und Tiefbohrgesellschaft mbH): durées de forage et de circulation, pertes de fluide.

5.1 Tablelles de données

Les paramètres supposés significatifs pour le déroulement des échantillonnages, ou qui aident à les comprendre, sont rassemblés dans les appendices AI à AVI, selon le schéma décrit brièvement ci-dessous.

Le paragraphe 6.1 est par contre entièrement dédié à la discussion de certaines des données, les méthodes de compilation, leur marge d'erreur et leurs facteurs perturbateurs.

- Chaque appendice regroupe les données d'un des six forages (I à VI).
- Chaque appendice est divisée selon différents thèmes:
 1. les périodes de forage traitent les informations qui concernent exclusivement la durée pendant laquelle l'intervalle a été foré.
 2. les périodes intermédiaires résument les informations qui ont trait à l'histoire de l'intervalle après son forage jusqu'au début du test. Ces périodes sont caractérisées par leur durée, la durée avec circulation (où l'intervalle est soumis à une pression hydrodynamique des fluides de forage), la durée et le volume des pertes et des débits artésiens, enfin le type de boue employé, ses paramètres hydrochimiques et la concentration moyenne des traceurs artificiels.
 3. La période d'écoulement comprend toutes les activités qui ont pour effet de soutirer de l'eau à la roche, pendant que l'intervalle est isolé du reste du forage en vue de l'acquisition des données hydrochimiques considérées. Ces activités incluent donc tout aussi bien certains des tests hydrauliques que la phase de nettoyage proprement-dite. Cette période est documentée par sa durée totale puis divisée selon la phase de tests hydrauliques et la

phase de nettoyage, caractérisées chacune par leur durée et le volume retiré de la roche. La concentration des traceurs et la teneur en tritium, à la fin des périodes de nettoyage, terminent cette troisième annexe.

4. La quatrième annexe donne un inventaire et des indications concernant l'évolution des différents fluides de forage qui sont entrés en contact avec l'intervalle depuis son percement jusqu'au début de l'échantillonnage. Les valeurs moyennes de conductibilité électrique, pH, alcalinité (titration avec HCl jusqu'à pH 4,3) et p-alcalinité (titration avec HCl ou NaOH jusqu'à pH 8,2), ainsi que les concentrations des traceurs sont reportées pour chaque période où le type de fluide de forage est resté environ constant ou a varié de manière continue (par exemple mélange progressif d'eau déionisée et d'eau souterraine à la suite d'un échange des liquides dans le forage).
5. La dernière annexe renseigne sur les résultats provisoires des tests hydrauliques (transmissivité et perméabilité) et donne les volumes compris dans le système de prélèvement (intervalle, tubage définitif, tube de test).

6 TRAITEMENT DES DONNEES

La plupart des facteurs supposés jouer un rôle pendant les échantillonnages doivent être déduits ou calculés à partir des mesures de terrain.

6.1 Préparation des paramètres significatifs

Pour mettre en relation les périodes d'échantillonnages et les événements qui ont pu influencer les eaux souterraines, on dispose de données qui intègrent l'effet de toute la hauteur du forage, par exemple les débits artésiens ou les pertes de fluide alors que l'on ne s'intéresse en fait qu'aux valeurs liées à un intervalle proprement-dit.

De plus, le nettoyage des intervalles n'a pas pu être réalisé dans la plupart des cas à l'aide d'une seule méthode (par exemple swabbing ou pompage) en raison des conditions hydrauliques différentes pour chaque zone et chaque forage.

Afin de procéder à des comparaisons, il fallait donc trouver des moyens d'unifier toutes les données.

6.1.1 Pertes de fluide de forage

Comme les quantités de fluide de forage perdues dans la roche sont une des causes importantes de la pollution des eaux souterraines, il est nécessaire de pouvoir déterminer ces volumes. Une estimation en est fournie par les compagnies de forage (SAD, DST), qui enregistrent le niveau des réservoirs des fluides de forage et calculent le volume de fluide qui manque après une journée de travail.

Il faut cependant noter que les mesures dans les bacs de fluide de forage ne permettent pas de détecter des pertes inférieures à $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$; de telle sorte que le forage de zone dont la perméabilité est inférieure à 10^{-8} m/s n'est marqué par aucune réaction mesurable et qu'il est donc impossible d'apprendre, de cette manière, si des pertes ont eu lieu.

Les pertes se passent le plus souvent lorsque les fluides de forage circulent et que la roche est soumise à une augmentation de pression hydrodynamique. Il est dans ce cas possible de calculer le volume de fluide perdu par unité de temps de

travail (m^3/h). Ces valeurs augmentent en général brusquement lorsqu'une nouvelle zone perméable est forée. Elles sont alors traitées pour obtenir le volume de fluide approximatif perdu, non pas le long de la section complète de forage, mais dans une zone bien déterminée de la manière suivante: connaissant la durée de la période de forage avec circulation des fluides (h), et l'augmentation moyenne par heure de forage (m^3/h), il suffit de multiplier simplement ces chiffres.

Exemple:

Date	Profondeur (m)	Durée forage (h)	Pertes (m^3)	Pertes/h (m^3/h)
12.10	624,5-651,5	14,0	0,3	0,02
13.10	-665,2	13,5	0,9	0,07
15.10	-706,4	18,0	0,4	0,02
16.10	-709,4	2,0	0,5	0,25

Note: Pertes dans la zone perméable entre 706,4 et 709,4 m sont égales à $0,25 m^3/h$ moins les pertes mesurées avant le forage de la zone, c'est-à-dire $0,02$ à $0,07 m^3/h$, multipliées par la durée de forage de la zone: 2 h donc $0,36-0,46 m^3$.

La précision de ces données dépend de la qualité des mesures de surface et du fait que les pertes dans un intervalle considéré ne restent pas constantes au cours du temps, vu la diminution de pression hydrodynamique des fluides de forage lorsque le trépan s'enfoncé, ou en raison de colmatation des fractures par les particules solides. Ces incertitudes ont pour conséquence de limiter la précision des mesures et des calculs de volumes perdus en fonction du temps. En effet, plus l'échantillonnage se passe tardivement par rapport au moment du forage de l'intervalle, plus la quantité de pertes est incertaine. Dans la plupart des cas, on peut cependant considérer que les valeurs déterminées ne devraient pas être entachées de plus de 20% d'erreur. Par contre, si l'histoire de l'intervalle est longue et compliquée par des activités diverses (par exemple essais de pompage pour les loggings) avant les échantillonnages, l'imprécision des volumes de pertes peut atteindre 50%.

6.1.2 Volumes déplacés par écoulement artésien

Pour comprendre les valeurs de traceurs pendant les échantillonnages, aussi bien dans le sens de la détermination de la qualité des prélèvements, que dans celui de l'étude des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère, il est nécessaire de savoir si un écoulement artésien a eu lieu avant le début de l'échantillonnage. En effet, les concentrations mesurées au début de l'essai ne correspondent alors pas à celles des fluides de forage, source de pollution des eaux souterraines, mais sont déjà influencées par une certaine période de nettoyage.

Par exemple, à Boettstein, Kaisten et Leuggern, les afflux d'eau souterraine du socle cristallin furent suffisants pour remplacer complètement ou en partie, l'eau déionisée employée comme liquide de forage. Cet écoulement a eu des effets positifs puisqu'une grande proportion de la pollution due aux pertes de fluide a ainsi pu être évacuée naturellement. Il a par contre complètement perturbé l'équilibre hydrodynamique comme le prouve les échantillonnages, réalisés à Boettstein. Balderer (1985) a déjà décrit ce phénomène corroboré par l'évolution des valeurs du carbone-14. Les échantillonnages effectués en cours de forage à 400 m ($^{14}\text{C} = 8,25\%$ moderne) et à 620 m ($^{14}\text{C} < 1,3\%$ moderne) ont mis en évidence une augmentation du temps de résidence des eaux souterraines avec la profondeur. Les valeurs obtenues par contre pendant la phase de test, après plusieurs mois d'écoulement artésien, 14,03% moderne à 315 m (contact Buntsandstein - roche cristalline), 13,8% moderne à 650 m et 7,64% moderne à 790 m ont montré que la diminution du potentiel hydraulique créé par le forage a permis de drainer en profondeur les eaux qui s'écoulaient au sommet de la série cristalline.

A Leuggern, l'interprétation des analyses de l'essai réalisé à la profondeur de 1433 m, à l'endroit d'une section peu perméable, est impossible. En effet, le débit artésien de la zone située à la base du forage à environ 1650 m fut suffisant, entre le moment où l'eau déionisée, additionnée des traceurs, fut introduite dans le forage et le début de l'échantillonnage, pour remplacer le liquide tracé par de l'eau souterraine non-tracée. L'eau contenue dans la roche autour de l'intervalle isolé par les packers se mélange dans ce cas non pas à de l'eau déionisée tracée mais à de l'eau souterraine non-tracée. Il est alors impossible de déterminer la proportion d'eau originaire de la zone échantillonnée et d'en calculer la composition chimique.

Les débits artésiens ont été contrôlés par les différents bureaux géologiques (Dr. H. Jäckli AG, Geotest AG, P. Kellerhals et Ch. Haefeli, Geotechnisches Institut) soit directement à la surface, soit en profondeur en mesurant la remontée du niveau d'eau dans le puits. Ces valeurs sont, comme les pertes, influencées par la section totale de forage ouverte et non par un intervalle bien précis. Elles ont donc aussi dû être traitées avant de les employer pour caractériser les conditions initiales de chaque zone avant l'échantillonnage.

La remontée du niveau d'eau dans le forage ou les débits artésiens à la surface ont été régulièrement mesurés entre les périodes de carottage. Malgré que ces valeurs changent si le train de tige n'est pas complètement retiré, les volumes écoulés pendant la phase sans pression hydrodynamique des fluides de forage peuvent être évalués à partir de ces données. Comme dans le cas des pertes, le débit (m^3/h) augmente en général lorsqu'une nouvelle zone perméable est forée. La différence de débit (m^3/h) multipliée par le nombre d'heure (h) où l'intervalle n'est pas soumis aux pressions de forage, indique le volume d'eau (m^3) qui a pu s'écouler. La précision de ces chiffres diminue à nouveau si la durée entre le forage et l'échantillonnage d'un intervalle augmente. Dans certains cas, des valeurs de comparaison sont obtenues par les tests hydrauliques, qui fournissent le débit au niveau du terrain, lorsque le segment est isolé du reste du sondage.

Exemple:

Date	Profondeur (m)	Débit (m^3/h)
31.5	1010,45	2,57
3.6	1032,70	2,59
3.6	1040,90	3,60

Note: Débit artésien de la zone située entre 1032,7 et 1040,9 m est égal à $3,6 - 2,6 \text{ m}^3/\text{h} \approx 1 \text{ m}^3/\text{h}$.

En fonction des données disponibles, ces calculs donnent une bonne idée de l'ordre de grandeur des volumes déplacés par écoulement artésien et fournissent des valeurs dont la précision varie de 20 à 50%.

6.1.3 Paramètres géométriques

Les volumes inclus entre le segment de roche soumis à l'échantillonnage et le lieu de prélèvement des échantillons, c'est-à-dire à l'intérieur de l'intervalle de test et des tubes qui relient la zone isolée à la surface, sont généralement remplis de liquide de forage et créent un espace de mélange pour l'eau souterraine.

Ces volumes doivent de plus être évacués, avant que l'eau souterraine n'arrive à la surface, et causent ainsi un prolongement des activités de nettoyage.

La zone limitée par un ou deux obturateurs, le fond du sondage ou un casing, est appelée intervalle d'échantillonnage, parce que l'eau souterraine peut en principe être drainée sur toute cette longueur. Cette distance est connue avec une précision de plus au moins 10 centimètres. Le volume total de l'intervalle est calculé à partir du caliper log, lorsqu'il est disponible, ou du diamètre nominal du puits. Pour obtenir le volume d'eau effectif compris dans l'intervalle, il faudrait encore soustraire dans certains cas la place occupée par le tubage de liaison entre les deux éléments du système d'obturateur. Comme le diamètre du forage n'est déterminé dans les meilleures conditions qu'à plus ou moins deux centimètres, les volumes calculés sont eux-mêmes déjà entachés d'au minimum 10 % d'erreur: erreur supérieure à celle causée par l'ignorance de l'effet du matériel.

6.1.4 Paramètres hydrauliques (Gartner et Lee AG)

La perméabilité de l'intervalle est le plus souvent connue avant les périodes de nettoyage grâce aux tests hydrauliques. Pour des raisons pratiques, il aurait été intéressant de trouver une relation entre la durée des échantillonnages et cette valeur, afin de pouvoir mieux prévoir les activités de terrain dans le futur. Par exemple, sachant que la perméabilité d'un intervalle est de l'ordre de 10^{-8} m/s, il serait possible de prévoir grâce à cette relation que la période de nettoyage durera environ 5 jours, avant que la pollution par les fluides de forage soit réduite à quelques pourcents et que l'échantillonnage définitif pour les analyses hydrochimiques puisse être réalisé. Les valeurs provisoires de perméabilité de chaque intervalle testé ont donc été incluses dans les paramètres d'étude (l'interprétation définitive des tests hydrauliques n'était pas encore à disposition au moment de la préparation de ce rapport).

Les essais hydrauliques permettent de déterminer la transmissivité de la zone testée, à partir de laquelle la perméabilité est calculée en considérant la hauteur totale de l'intervalle comme hauteur de l'aquifère. Les valeurs provisoires obtenues sur le terrain proviennent de l'interprétation des courbes de pression, selon l'hypothèse d'un milieu poreux homogène et infini, et sont assurées à plus au moins un demi-ordre de grandeur ($10^{-n} \pm 0,5 \cdot 10^{-n}$).

6.1.5 Traceurs artificiels, conductibilité électrique et pH

Pendant les échantillonnages, les traceurs artificiels uranine et m-TFMBA indiquent la part respective des liquides employés pendant les activités de forage et celle des eaux souterraines. Pour déterminer ces proportions relatives dans les échantillons mesurés, il faut connaître la concentration, dite de référence, des traceurs dans les fluides qui sont entrés en contact avec les eaux souterraines (pendant des périodes de pertes, de circulation, etc....) dans la roche, derrière les casings, à l'intérieur de l'intervalle isolé ou des tubages. Ces valeurs de référence ne peuvent donc être choisies ou calculées qu'en étudiant l'histoire de l'intervalle avant les tests.

Les mesures de traceurs, effectuées par Motor Columbus Ing. et décrites en détail par Haug (1985) dans le rapport NTB 85-07, sont entachées d'une erreur absolue de 1 à 3 % pour l'uranine, respectivement inférieure à 5 % pour le m-TFMBA. Les erreurs relatives ont été évaluées à 1,0 - 1 % pour l'uranine. Les limites de détection du matériel utilisé se situent entre 1 ppb et 10 ppm pour l'uranine, 0,1 ppb et 100 ppm pour le m-TFMBA.

La détermination de l'uranine est perturbée par certaines substances contenues dans les fluides de forage ou les eaux souterraines (additifs, oxydes de fer), de telle sorte qu'un bruit de fond apparaît. Il fut jugé à 100 - 500 ppb pour les boues à bentonite, 10 à 50 ppb pour les eaux naturelles qui proviennent des roches sédimentaires et inférieur à 2 ppb pour celles des roches cristallines.

Le rôle du pH a été contrôlé par des essais de laboratoire et déterminé négligeable dans les conditions présentes, c'est-à-dire pH entre 7 et 10. Les traceurs et paramètres hydrochimiques (conductibilité électrique, pH, alcalinité) ont été mesurés par Motor Columbus Ing. sur le terrain pendant les activités de

forage et les périodes d'échantillonnage. La conductibilité électrique et le pH sont pris en compte dans le cadre de ce travail, car ils aident parfois à comprendre qualitativement les changements survenus dans l'évolution des traceurs artificiels. Leur précision atteint 5 à 10% pour la conductibilité et $\pm 0,1$ unité pH (Haug, 1985).

Par exemple, une augmentation anormale de la conductibilité (~ 100 mS/cm) au début du test effectué à Schafisheim après la perforation du tubage définitif à l'endroit du Muschelkalk supérieur a mis en évidence une pollution par la boue de forage salée piégée dans la roche derrière le casing.

6.1.6 Volumes extraits par pompage ou puisage

La variation de la concentration des traceurs est fournie en fonction du temps par les compagnies qui s'occupent des mesures de terrain. Malheureusement, le rythme des activités et les débits extraits de la roche ont varié pendant chaque test et entre les différents essais. Les annexes 6.1 et 6.2 illustrent ces variations de débit et l'effet des arrêts au cours des tests, qui changent l'allure des courbes de restitution des traceurs.

Afin d'obtenir des valeurs comparables et uniformes, les concentrations des traceurs au cours des périodes de nettoyage doivent donc être reportées en fonction des volumes pompés et non du temps. Les mesures de surface disponibles pour obtenir ces valeurs sont d'une part les débits lors des périodes de pompage, d'autre part les estimations des volumes retirés lors des actions de swabbing (voir p.37).

Les débits mesurés lors des périodes de pompage environ toutes les 6 heures permettent de calculer tout au long de la période d'échantillonnage les volumes pompés avec une précision d'environ 10%.

Lorsque la perméabilité d'un intervalle est trop faible et qu'il n'est pas possible d'installer une pompe, seule la remontée du niveau d'eau dans le tubage, calculées à partir des enregistrements fournis par les sondes de pression placées au-dessus des obturateurs, permet de calculer les volumes déplacés. Dans la plupart des cas, les périodes de swabbing se déroulent en effet pendant les enregistrements de pression à la suite des tests hydrauliques. Les pressions, indiquées en unité kilopascal par les sondes, peuvent être transformées en volume

connaissant le diamètre des tubages et la densité de l'eau, le plus souvent très proche de 1 g/cm^3 . Les volumes déplacés peuvent être ainsi déterminés avec une précision inférieure à 5%.

Lors de quelques actions de swabbing sans indication des changements de pression grâce aux sondes, les volumes puisés ont été calculés, connaissant la profondeur, à plus ou moins 10 m., jusqu'où l'appareil fut descendu et le diamètre des tubages. Ces valeurs ne sont qu'approximatives mais permettent au moins d'obtenir des évaluations de volumes pendant le début des périodes de nettoyage, lorsqu'on observe les plus fortes variations des traceurs. Les calculs effectués dans le cadre de ce travail ont montré que la précision de ces chiffres peut être estimée selon les essais de 20 à 50%.

Un second problème survient lorsqu'il s'agit de mettre en relation les valeurs de traceurs et les volumes extraits. Par exemple, les mesures de traceurs effectuées sur l'eau échantillonnée en profondeur par une bouteille échantillonneuse ne peuvent pas être associées au volume d'eau soutiré du puits mesuré à la surface, car ce chiffre ne correspond pas nécessairement au volume d'eau effectivement écoulé à l'endroit du prélèvement. Il a fallu donc corriger les volumes mesurés pour en déduire le volume extrait corrigé, connaissant la profondeur de l'échantillonnage, le rabattement et le débit. Afin de pouvoir comparer les tests entre eux, le niveau du sol a été choisi comme point de référence. Les volumes dits corrigés représentent donc le volume d'eau qui se serait effectivement écoulé de la roche, si l'échantillon sur lequel a été effectué la mesure des traceurs (ou des paramètres hydrochimiques) avait été pris à la surface.

Deux exemples vont illustrer ces calculs:

- Dans le cas d'essais de pompage, le volume extrait à la surface ($Q_{\text{tot. pompé}}$) ne tient pas compte des variations de rabattement dans le forage: une pompe tombe en panne après que 10 m^3 se soient écoulés de la roche; jusqu'à ce qu'elle fonctionne à nouveau, le niveau d'eau dans le puits est remonté équivalent à un volume de $0,8 \text{ m}^3$. L'eau pompée au début de la seconde période d'essai ne correspond donc plus à 10 m^3 mais à $10,8 \text{ m}^3$ ($Q_{\text{tot. pompé corrigé}}$).
- Après avoir puisé par swabbing jusqu'à 300 m l'équivalent de $0,8 \text{ m}^3$ ($Q_{\text{tot. puisé}}$), un échantillon est collecté au-dessus des obturateurs à 1800 m. Entre le swabbing et l'échantillonnage, s'écoule $0,5 \text{ m}^3$

de la roche sous l'effet de la différence de potentiel. L'eau de la bouteille ne correspond donc pas à un volume puisé de $0,8 \text{ m}^3$ mais représente un mélange d'eau souterraine et de fluide de forage qui aurait pu être échantillonné à la surface si le volume compris dans les tubages de test jusqu'à 1800 m, $7,4 \text{ m}^3$ dans ce cas, additionné du volume effectivement écoulé, $0,5 \text{ m}^3$, avait été puisé ($Q_{\text{tot. puisé corrigé}} = 7,9 \text{ m}^3$).

6.2 Relation entre la qualité des échantillons et les conditions de test

Comme la qualité des échantillons a été discutée et décrite en détail dans le rapport NTB 85-49 et que les valeurs caractéristiques des conditions des tests ont été compilées selon les méthodes décrites ci-dessus, il devenait possible de rechercher des relations entre ces paramètres. Dans un premier temps, toutes les données présentées dans les appendices I à VI (déjà décrites au chapitre 5.2) ont été rassemblées sous forme de tableaux récapitulatifs et entrées au computer.

Vu que la qualité des échantillons n'était déterminée qu'à la fin des périodes de nettoyage (après que des quantités variables d'eau souterraine aient été soutirées de la roche) et que l'on avait à disposition aucun renseignement concernant l'allure de la courbe de restitution des traceurs en fonction des débit, on s'est intéressé à trouver un moyen de mieux mettre en valeur les informations hydrogéologiques renfermées par les courbes de restitution des traceurs. Arbitrairement, on a choisi les étapes des tests où la proportion des fluides de forage dans les échantillons atteint les limites de 10% et 1%, c'est-à-dire que la concentration des traceurs est égale à 10% et 1% de la valeur de référence définie comme condition initiale du test.

Pour ce faire, on a défini des facteurs F qui représentent le nombre de fois que le volume inclu dans l'intervalle testé ($V_{\text{intervalle}}$) a dû être extrait du forage, avant que la concentration des traceurs atteigne une limite donnée.

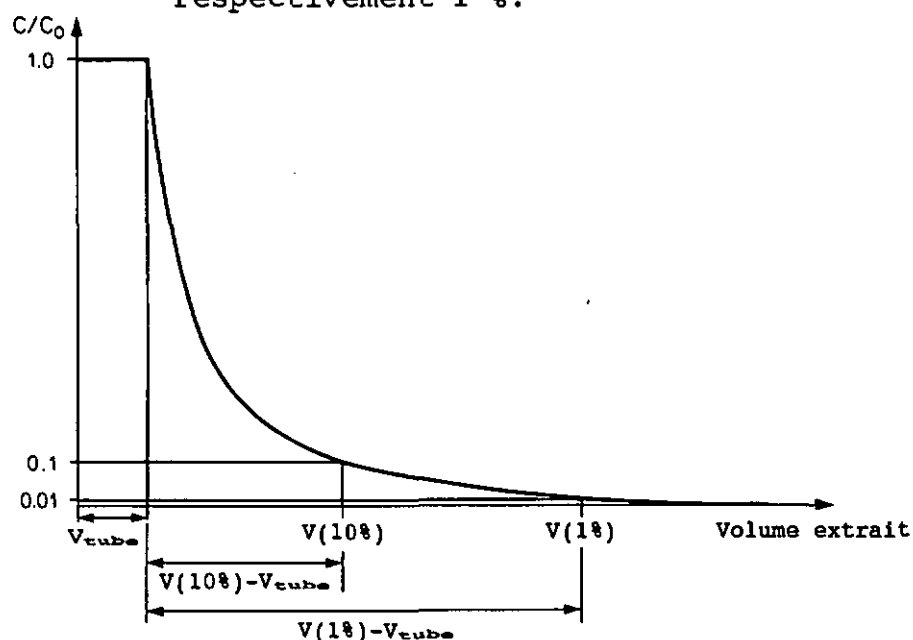
Comme le volume compris dans les tubes (V_{tube}) fausse les comparaisons entre les différents essais et que l'on désire sur le terrain prévoir le nombre de fois qu'il faut échanger le volume de l'intervalle avant de pouvoir procéder aux échantillonnages, on a toujours déduit le volume compris dans les tubes de

test des valeurs extraits déterminés lorsque 10% ou 1% de la concentration des traceurs est atteinte. Les facteurs F deviennent alors:

$$F_{10 \%} = \frac{V_{\text{extrait (10 \%)} - V_{\text{tubes}}}{V_{\text{intervalle}}}$$

$$F_{1 \%} = \frac{V_{\text{extrait (1 \%)} - V_{\text{tubes}}}{V_{\text{intervalle}}}$$

où $V_{\text{extrait (10 \%)}}$, $V_{\text{extrait (1 \%)}}$ = Volume d'eau qu'il a fallu extraire de l'intervalle testé avant que la concentration des traceurs n'atteigne les limites de 10 %, respectivement 1 %.



Ces facteurs ont été calculés pour tous les tests où les données de base sont suffisantes.

Afin de mettre en évidence des relations entre les différents paramètres déterminés ou calculés pour chacun des tests et si possible les quantifier, on a reporté en abscisse et en ordonnée des couples de paramètres qui devraient logiquement être interdépendants. Une série de graphiques, dont quelques exemples sont présentés ci-dessous, a été effectuée automatiquement par le computer.

On a tout d'abord recherché une dépendance entre:

- les volumes de pertes de fluide de forage et les activités de forage. La période de forage de l'intervalle proprement-dite et la période dite intermédiaire (entre le forage et le test) ont été traitées séparément. Les 4 graphiques suivants ont été produits:

volume des pertes = f(durée des pertes pendant la période considérée totale)

volume des pertes = f(durée des pertes pendant la période considérée où le puits est soumis à une augmentation de pression hydrodynamique due aux activités de forage)

- le volume des pertes de fluide de forage et l'environnement géologique. Les 2 graphiques suivants ont été dessinés:

volumes des pertes = f(perméabilité)

volumes des pertes = f(transmissivité)

- la qualité des échantillons et la durée des activités de forage pendant la période de forage proprement-dite et pendant la période intermédiaire. Les 8 graphiques suivants ont été tracés:

concentration - uranine = f(durée pertes pendant la période considérée totale)
 - mTFMBA

concentration - uranine = f(durée pertes pendant la période considérée où le puits est soumis à une augmentation de pression hydrodynamique due aux activités de forage)
 - mTFMBA

- la qualité des échantillons et les volumes de fluide de forage injectés dans la roche lors des pertes. Pour les deux périodes de forage et intermédiaire, les 4 graphiques suivants ont été produits:

concentration - uranine = f(volume pertes)
 - mTFMBA = f(volume pertes)

- la qualité des échantillons et les facteurs de nettoyage calculés à la fin de l'échantillonnage (Ffinal) et lorsque la pollution par les fluides de forage atteint les limites de 10% (F10%) et 1% (F1%). Les 6 graphiques suivants ont été dessinés:

concentration - uranine = f(Ffinal)

- mTFMBA = f(Ffinal)

concentration - uranine = f(F10%)

- mTFMBA = f(F10%)

concentration - uranine = f(F1%)

- mTFMBA = f(F1%)

Les résultats de ces nombreux graphiques sont commentés au chapitre 7.1.

6.3 Dispersion hydrodynamique

Les données préparées et traitées pendant la première phase d'étude permettent de plus de choisir les tests susceptibles d'être employés selon les équations proposées par Mercado (1966) et Bear (1979), voir chapitre 2.3. Pour calculer des valeurs de dispersivité longitudinale A_L , il faut que les concentrations relatives des traceurs puissent être reportées tout au long de la période de nettoyage de l'intervalle en fonction des volumes d'eau extraits de la roche.

6.3.1 Choix des tests

Il ne suffit pas que les données de chaque test soient représentées graphiquement sous la forme $C/C_0 = f(V_{\text{pompe}})$, pour que des valeurs de dispersivité fiables puissent en être déduites. En effet, deux conditions supplémentaires doivent être remplies:

- Les traceurs et les débits pompés doivent avoir été mesurés et calculés avec soin au début des tests, afin que la pente de la courbe de restitution à la valeur $C/C_0 = 0,5$ puisse être déterminée avec une précision suffisante.
- le volume dit injecté V_i dans la roche doit pouvoir être connu. Dans notre cas, les volumes injectés correspondent aux volumes qui ont été perdus dans la roche lors des activités de forage.

Parmi les intervalles échantillonnés, il a fallu tout d'abord éliminer les tests:

- où la concentration de référence des traceurs C_0 est incertaine
- où les conditions techniques pouvaient falsifier les résultats (p.ex. court-circuits)
- où les valeurs de traceurs sont très irrégulières (p.ex. influence de la boue à bentonite)
- où les débits pompés ne peuvent qu'être estimés.

Des soixante-huit tests effectués, une quinzaine seulement répond à ces critères. Parmi ces derniers neuf tests ont été traités:

à Boettstein: 400 et 621 m
à Schafisheim: 1571 et 1888 m
à Kaisten: 114 et 483 m
à Leuggern: 75, 923 et 1643 m.

Le choix a été guidé par les critères suivants:

- répartir les tests sur les différents forages,
- comparer les réponses dans les roches cristallines et sédimentaires,
- préférer les tests dont le début des courbes de restitution des traceurs est bien documenté.

6.3.2 Traitement des données

Après avoir préparé les fichiers contenant les valeurs nécessaires (dates, heures, rabattement, volume mesuré à la surface, volume corrigé net pour l'écoulement en profondeur, somme des volumes corrigés, conductibilité électrique et traceurs), un premier programme a permis de calculer la durée $\Delta t(h)$ entre le début du test et chaque mesure, le pourcentage des traceurs et la quantité totale de traceur récupérée pendant les activités. Les données des neuf tests traités sont rassemblées dans l'appendice VII.

6.3.2.1 Calcul de la dispersivité longitudinale A_L

Selon la méthode expliquée au chapitre 2.3.3, la restitution des traceurs pendant les périodes de pompages doit être reportée en fonction du volume pompé cumulé. La pente à la valeur $C/C_0 = 0,5$ permet de déterminer la valeur ΔV_p qui entre dans la relation:

$$A_L \sqrt{B \cdot n} = \frac{3}{32 \pi^{3/2}} \sqrt{V_i} \left(\frac{\Delta V_p}{V_i} \right)^2$$

Afin d'obtenir le coefficient de dispersivité longitudinale, il faut encore connaître la porosité n de l'intervalle. Parmi les tests à disposition, seules deux zones: KAI 114 (forage de Kaisten, profondeur moyenne de l'intervalle 114 m, Buntsandstein) et LEU 75 (forage de Leuggern, profondeur moyenne de l'intervalle 75 m, Muschelkalk) peuvent être considérées à écoulement principalement de milieu interstitiel et des valeurs de porosité moyenne dérivées des logs géophysiques ou des mesures de laboratoire sur les carottes. Pour les autres intervalles, l'écoulement a lieu selon les fractures et filons, de telle sorte que seul le produit $A_L \sqrt{B \cdot n}$ peut être calculé. Des valeurs de dispersivité longitudinale ne sont déterminées dans ce cas qu'en faisant des suppositions quant à la porosité moyenne de l'intervalle (sur la base des mesures de laboratoire).

6.3.2.2 Calcul du volume de fluide de forage injecté V_i

L'équation ci-contre met en évidence l'importance du paramètre "volume injecté dans la roche" V_i . Comme les valeurs fournies par les compagnies de forage ne sont pas assez précises ou même parfois manquent tout à fait, la quantité totale de traceurs récupérée pendant les périodes de nettoyage fut employée pour en déduire le volume injecté.

Cette quantité de fluide de forage totale récupérée, calculée en pondérant les débits pompés et la concentration des traceurs, est égale à la somme des quantités contenues dans le système de prélèvements (intervalle et tube) et dans la roche. Connaissant les volumes dans le système de prélèvement et la concentration des traceurs pendant les périodes de pertes et au début des tests par les données de terrain, il est possible de calculer quel volume de fluide de forage V_i (m^3) a dû disparaître dans la roche.

Par exemple, ayant calculé sur la base des rapports de forage et des mesures du service de contrôle des boues de forage (Motor Columbus Ingenieurunternehmung AG) que les essais de pompage ont permis de regagner 31 g d'uranine et que les volumes compris dans le système de prélèvement, environ $2 m^3$, équivalent à 11 g d'uranine (d'après les concentrations mesurées au début du test), il est évident que 20 g ont été perdus dans la roche, si aucune perte par sorption, dégradation chimique etc. n'a eu lieu. Sachant que la concentration moyenne d'uranine pendant la période de forage, où les pertes, se sont déroulées, était de 5 ppm, on en déduit qu'un volume d'environ $4 m^3$ a dû être injecté dans la roche avant l'essai.

Comme certains des tests ont été interrompus avant que la teneur en traceur soit négligeable, il était important de déterminer les débits injectés extrapolés (V_i ext.), comme si la phase de nettoyage avait été prolongée jusqu'à ce que la quantité totale de traceur injectée soit récupérée. En reportant la concentration relative des traceurs C/C_0 en fonction de la quantité totale de traceur récupérée, il est facile d'extrapoler la valeur lorsque les eaux souterraines ne sont plus polluées par les fluides de forage. Un exemple d'une telle extrapolation est donné par l'annexe 6.3 où la concentration d'uranine en % est représentée en fonction de la concentration d'uranine cumulée au cours du test BOE 621 m.

7 RESULTATS ET DISCUSSION

7.1 Relations entre les conditions initiales dépendantes du forage et les tests

7.1.1 Résultats

Lors de la phase de préparation des données, il a fallu se rendre à l'évidence que les volumes de pertes de fluide de forage, ne pouvaient être déterminés à l'aide des rapports des compagnies de forage que pour environ un cinquième des tests (11). En ce qui concerne les volumes écoulés par débit artésien, un plus grand nombre de valeurs n'était à disposition que pour la période intermédiaire (entre le forage et les tests). Ces données sont de plus réparties sur cinq types de puits à conditions hydrauliques et méthodes de forage différentes. Comme les représentations graphiques n'ont pas permis de mettre en évidence des relations entre les valeurs compilées et qu'il est possible de n'en tirer que des conclusions qualitatives, le traitement de ces données n'a pas été poursuivi.

On n'observe donc pas de tendance entre les paramètres suivants:

- la durée des pertes - le volume des pertes de fluide
- la perméabilité, transmissivité - le volume des pertes de fluide
- la durée entre le forage de l'intervalle et l'échantillonnage - la qualité des échantillons (traceurs)
- le volume de pertes - la qualité des échantillons (traceurs)
- le nombre de fois qu'un intervalle est nettoyé (F) - la qualité des échantillons (traceurs).

Afin de simplifier la recherche des données de base réparties dans les appendices I à VI et présenter les résultats des facteurs F, les principales valeurs discutées ci-dessous sont rassemblées dans le tableau 7.1.

7.1.2 Discussion

Avant de passer à la discussion des conclusions que l'on peut tirer de ces résultats, il faut soulever quelques points généraux concernant certaines des valeurs traitées.

Tableau 7.1: Résumé des principales données caractéristiques des tests d'échantillonnage.

forage	No.test	Vint (m3)	Vtub (m3)	transm. perméa. (m2/s)	Vperte (m3) for.	inter. for.	Vart. (m3) inter.	F 101 uraniume mppPBA	F 12 uraniume mppPBA	Ffinal uran.L mppPBA (%)	Tritium (TU±2σ)	Vint			
												volume	intervalle		
												Vtub	volume tubage de test		
												for.	période de forage		
												inter	période intermédiaire		
												Vart	volume artésien		
												transm.	transmissivité		
												permée.	perméabilité		
Boettstein	161.91	6.30	0.39	2.4E-04	3.0E-06	0.0	0.0	79.0		0.04	14.1 +/- 2.9				
	161.92	6.10	8.80	2.4E-04	3.0E-06	0.0	0.0	79.3		222.60	<1.0				
	321.1	0.34	2.00	3.1E-03	3.0E-06	0.0	0.0	0.0		3.90	6.2 +/- 2.3				
	316.6	0.90	2.00	3.3E-03	2.9E-06	0.0	0.0	2.1		32.10	<0.7				
	399.3	0.32	1.13	1.3E-06	1.1E-07	0.0	0.0	>1.0		7.03	<0.60	<1.0			
	611.3	0.11	1.84	1.3E-06	2.7E-07	0.0	0.0	1.3	32.80	31.00	89.60	2.30	2.60	1.0 +/- 0.7	
	790.1	0.25	3.34	4.9E-05	4.0E-04	0.0	0.0	1.1	2.3		-4.20	73.00	62.00		
	618.4	0.60	4.74	1.2E-03	6.0E-07	0.0	0.0	13.0	2340.0		133.30	0.10		1.0 +/- 0.7	
	792.4	0.30	6.18	1.9E-03	9.0E-07	0.0	0.0	8.0	490.0		120.60	0.10		0.9 +/- 0.9	
	1326.2	0.21	3.93	1.3E-09	1.2E-10	0.0	0.0	0.0	0.0		2.30	40.00		37.0 +/- 3.0	
Vielach	649.0	0.38	3.34	1.0E-06	6.0E-08	0.0	0.0	26.0	<3.30	<16.90	77.00	8.00		3.2 +/- 0.7	
	649.1	0.38	3.33	1.0E-06	6.0E-08	0.0	0.0	61.0	<3.30	<3.30	37.30	<3.00	<3.00	2.2 +/- 0.7	
	312.3	0.33	0.98			0.0	0.0	0.0		37.10				0.2 +/- 0.3	
	333.0	1.10	1.30	1.4E-03	6.0E-07	0.0	0.0	0.0		48.40				<3.8	
	984.2	0.07	6.23	2.0E-06	1.0E-06	0.0	0.0	<1.6	3.3		100.70	0.50		23.3 +/- 2.3	
	983.3	0.63	6.10	4.0E-06	3.0E-07	0.0	2.1	32.0	0.0	112.80	134.60	2.00	0.30		<0.8
	2267.0	0.26	6.31	1.0E-09	1.0E-10	0.0	0.0	0.0	4.13		2.63	8.20	10.70		11.0 +/- 1.1
	3218.1	0.09	6.67	1.3E-08	1.0E-09	0.0	0.0	0.0	0.0		14.13	<1.80	<1.70		2.7 +/- 0.7
	1408.3	0.37	4.22	5.0E-09	2.0E-10	0.0	0.0	0.0	6.67	2.69	11.90	1.70	3.40		6.4 +/- 0.9
	1126.3	0.69	3.90	1.4E-07	1.0E-08	0.0	0.0	6.3		32.00	43.30	0.60	0.60		2.2 +/- 0.6
Zinken	313.7	1.10	3.90	1.3E-07	3.0E-09	0.0	0.0	0.0	3.40	<1.10	17.20	0.06	0.18		<1.2
	636.7	3.20	30.00	6.0E-03	7.0E-07	10.3	0.3	0.0	7.30	10.40	9.40	0.07	0.06		<1.1
	806.6	0.60	3.30	4.0E-03	1.3E-06	0.0	0.0	0.0		171.30	0.02			0.7 +/- 0.7	
	963.3	0.30	3.13	6.0E-08	4.0E-09	0.0	0.0	0.0	3.90	57.80	13.30				<1.1
	993.3	2.00	3.80	1.0E-06	3.0E-08	60.0	100.0	0.0	189.20	10.30	383.00				<1.1
	1361.3	0.70	4.00			0.0	0.0	0.0		1.70	18.00	48.00	31.7		2.6 +/- 1.0
	339.0	0.37	3.80	5.0E-07	5.0E-08	0.0	0.0	0.0		24.30	0.70	0.90			<1.2
	1260.4	3.30	4.60	3.3E-06	3.0E-08	0.0	0.0	73.0	-0.70	-0.30	13.00	0.20	0.40		<0.9
	1488.7	0.63	6.33	2.4E-08	1.0E-09	0.0	0.0	0.0	4.70		7.30	1.60			1.8 +/- 0.7
	1371.1	1.73	7.82	1.0E-06	1.0E-07	0.0	21.0	0.0	37.0	19.70	60.30	1.70	2.50		2.3 +/- 0.7
Schafalheim	1887.9	0.13	7.86	1.0E-03	1.0E-06	2.0	>1.8	0.0	368.00	1370.00	1347.00	0.70	1.10		1.3 +/- 0.9
	1980.41	0.76	7.86			33.0	10.0	0.0			73.20	33.00			
	1980.41	0.76	8.08			33.0	10.0	0.0			140.00	13.00	21.00		13.7 +/- 1.1
	1249.0	0.82	3.90			0.0	0.0	43.0			4.30				
	1231.1	0.82	3.70			0.0	0.0	87.0			84.30				1.4 +/- 0.7
	113.3	1.20	0.78	4.0E-03	1.1E-08	0.0	0.0	0.0	8.60	9.00	23.00	23.30			0.4 +/- 0.2
	284.3	0.60	2.10	3.3E-04	2.1E-05	3.6	0.0	0.0	54.80	43.70	>210.00	272.60			0.7 +/- 0.3
	310.4	0.97	2.36	2.2E-03	1.0E-06	0.0	0.0	>0.1	>1.4	3.20	3.30	13.90	18.20		1.1 +/- 0.7
	482.6	0.23	2.60	2.4E-03	1.7E-06	0.0	0.0	>2.0	0.0	0.40	0.40	189.10	139.10		1.3 +/- 0.7
	636.4	0.33	4.03	2.3E-06	1.0E-07	28.0	18.0	4.0	21.0	102.00		149.00	6.30		6.7 +/- 0.7
Eiseten	819.4	0.10	4.40	4.6E-06	7.0E-07	3.4	0.0	0.2	<21.00	339.30	403.00	0.43			0.9 +/- 0.7
	1031.0	0.37	3.23	1.2E-04	6.0E-06	0.0	0.0	116.0	-4.30	0.20	247.20	0.10	<1		<0.8
	1153.3	0.35	3.44	2.2E-07	9.0E-09	0.0	0.0	0.0		-3.30	13.30	0.33			<0.8
	1371.9	0.93	3.73	6.8E-06	1.0E-09	0.0	0.0	0.0	9.40		21.90	0.75			1.2 +/- 0.7
	74.9	1.60	8.60	3.0E-03	1.0E-06	>6.1	3.0	0.0	20.70		64.06				11.6 +/- 1.1
	217.9	0.77	1.62	3.9E-07	2.0E-08	9.3	0.1	>0.2	1.40	1.30	7.20	11.00			0.8 +/- 0.7
	251.2	1.12	3.43	8.7E-06	3.0E-07	>0.3	0.0	>0.6	4.00	37.90	36.70	0.27	0.19		0.8 +/- 0.7
	444.2	0.13	3.02	2.3E-07	3.0E-08	0.0	0.0	>0.1	1.80		37.30	1.00	1.60		<1.2
	338.0	1.08	3.07	1.7E-05	2.0E-07	0.0	0.0	10.0	-0.30		4.90	4.70			<1.0
	703.7	0.11	3.00	1.3E-06	2.0E-07	0.3	0.0	0.0	-8.20	42.90	43.10	250.00	0.16	0.16	<1.3
Leuggern	913.0	0.23	3.66	1.4E-08	1.0E-09	0.0	0.0	0.1	13.20	11.30	24.30	3.30	3.90		2.6 +/- 0.7
	1192.3	0.46	3.34	6.3E-09	1.0E-10	0.0	0.0	0.0	1.40	1.10	2.20	7.30	7.00		0.7 +/- 0.7
	1643.4	0.16	6.64	2.4E-03	2.0E-06	0.0	0.0	0.9	133.40	132.00	669.80	734.80			0.8 +/- 0.7
	247.0	0.43	3.40	2.3E-07	1.0E-08	0.0	0.0	0.1	6.10	7.80	44.00	2.23	2.93		2.2 +/- 0.7
	1203.2	0.73	3.33	1.4E-08	9.0E-10	0.0	0.0	>1.0	3.20	3.60	13.30	1.23	1.03		1.3 +/- 0.7
	1663.3	0.72	6.02	3.0E-03	1.0E-06	93.0	0.0	>163.0	>239.0	8.30	167.00	1.36	1.08		1.8 +/- 0.9
	1433.4	0.18	4.30	1.2E-09	3.0E-10	0.0	0.0	0.0	1.80	2.10	3.70				<1.4 +/- 0.9

Un des buts principaux de ce travail est d'employer les courbes de restitution des traceurs pendant les périodes de nettoyage des intervalles pour en déduire des valeurs de dispersivité longitudinale A_L . Ceci implique qu'une quantité connue de fluide marqué par un traceur quelconque, dans notre cas des traceurs non influencés par les phénomènes de sorption, a préalablement été injectée dans la roche et s'est déplacée tout autour du forage, sous l'effet de l'advection et de la dispersion hydrodynamique. Le volume de fluide tracé injecté est donc un paramètre essentiel; il en est de même des volumes qui se sont écoulés hors du puits soit naturellement en raison d'un potentiel hydraulique artésien, soit parce qu'une période de pompage a précédé les tests. De tels débits occasionnent un nettoyage du forage et ne peuvent souvent pas être contrôlés.

Les courbes de restitution des traceurs en fonction du débit pompé ont une forme de "S" inversé avec un premier palier qui correspond à l'évacuation des liquides contenus dans le système de prélèvement (de 2 à 10 m³ environ), dont la concentration en traceur est égale à 100%, puis d'une descente plus ou moins rapide (jusqu'à 20 à 5% selon les tests) dépendante du mélange d'eau de forage tracée et d'eau souterraine. Selon la durée des tests, on observe encore, après une partie à pente moins accentuée (entre 20 et 5% environ), une queue presque horizontale à faible concentration de traceur (inférieure à 5%). Si une période de débit artésien a eu lieu avant le test, la descente est accélérée car une proportion des fluides tracés a déjà été évacuée. Dans certains cas, cet effet est assez important pour que les facteurs $F(10\%)$ et même $F(1\%)$, qui indiquent le nombre de fois que le volume compris dans l'intervalle a du être nettoyé avant que les traceurs atteignent les limites de 10% et 1%, c'est-à-dire que la proportion d'eau souterraine soit égale à 90% et 99%, aient des valeurs négatives.

Ces remarques sont indispensables à la compréhension des résultats produits par les comparaisons graphiques qui sont commentés ci-dessous:

- Si l'on considère les facteurs sensés jouer un rôle pendant les périodes de nettoyage des intervalles, on devrait obtenir des relations entre la qualité des échantillons et les volumes de fluide injectés dans la roche. Comme les volumes de perte de fluide de forage ne sont disponibles que pour une dizaine de tests et que ces valeurs sont de plus en plus précises vu les méthodes de mesure employées sur le terrain et les calculs exigés pour leur détermination (voir chapitre 6.1.1), on s'est intéressé à la durée des pertes car ce paramètre, qui devrait être en relation directe avec les volumes de pertes, est entaché d'erreurs moins importantes et peut être calculé facilement pour tous les tests. Les graphiques montrent cependant que la durée et le volume des pertes de fluide sont, contre toute logique, indépendants vraisemblablement en raison de la grande variabilité des conditions hydrauliques de chacun des forages (méthodes de forage et potentiels hydrauliques naturels différents). Il s'en suit que l'on ne pourra pas employer la durée à la place des volumes de pertes pour étudier la forme des courbes de restitution des traceurs.
- Les graphiques volume de perte en fonction de la transmissivité et la perméabilité, qui devraient permettre de mieux comprendre dans quelles conditions ont lieu les pertes, n'ont également donné aucun résultat positif. Le peu de précision des volumes de perte et la trop grande variation des méthodes de forage en sont probablement à nouveau les raisons principales.
- La qualité des échantillons, indiquée par les traceurs artificiels, a été comparée à de nombreux paramètres pour différents motifs:
 - Il aurait été intéressant du point de vue pratique de trouver une relation entre la qualité des échantillons et l'histoire de chaque intervalle, c'est-à-dire particulièrement la durée totale des activités de forage entre le percement de l'intervalle et le test ou encore la durée pendant laquelle la zone considérée est restée en contact avec le forage et a été soumise à une augmentation de pression hydrodynamique (due aux activités de forage). Une telle relation permettrait de prévoir quantitativement les conséquences d'une attente prolongée avant les tests. Les graphiques, réalisés en employant des symboles différents

pour chacun des forages, afin de pouvoir séparer les régimes hydrauliques, n'ont pas permis de fournir les renseignements désirés. Une des causes est certainement due au fait que la qualité des échantillons dépend en première ligne des volumes de fluide qui ont circulé entre le forage et la roche environnante avant le test. Ces mouvements de fluide peuvent avoir des effets "positifs", c'est-à-dire un nettoyage par débit artésien, ou au contraire "négatifs", à savoir une augmentation de la pollution des eaux souterraines par les fluides de forage. L'histoire de chaque zone diffère beaucoup, vu les conditions de travail sur le terrain, et rend ainsi les comparaisons impossibles.

- Si la restitution des traceurs est dépendante des volumes de pertes, comme il l'est supposé, deux conséquences importantes peuvent en être déduites. Premièrement, il faut à tout prix réduire au maximum les pertes pendant les activités de forage en adaptant le programme de test ou la densité et la pression des fluides de forage (par exemple par l'emploi d'eau à la place de boue). Deuxièmement, les courbes de restitution des traceurs peuvent être employées pour déterminer les mécanismes de transport dans la roche. Comme il fallait s'y attendre, les graphiques représentant le qualité des échantillons en fonction des volumes de perte ne montrent pas de tendance particulière. Ceci provient évidemment du fait que les valeurs de pertes ne sont pas assez précises, que les volumes artésiens ne sont pas pris en compte et enfin que les échantillons ont été récoltés après des périodes de pompage de débits variables.
- Les facteurs

$$F = \frac{V_{\text{extrait}} - V_{\text{tubes}}}{V_{\text{intervalle}}}$$

calculés lorsque la part de fluide de forage dans les échantillons est égale à 10%, 1% devraient par contre être en relation directe avec les concentrations relatives des traceurs. En effet, ces facteurs indiquent le nombre de fois que le volume inclu dans chaque zone isolée a dû être évacué avant d'atteindre les limites de pollution choisies. En principe, plus le volume de fluide injecté dans la roche

est élevé, plus la restitution des traceurs est lente car le nuage s'est propagé loin du puits, et les facteurs doivent être en conséquence plus élevés. En raison des réserves citées ci-dessus (influence des débits artésiens précédents les tests sur l'évolution des traceurs pendant les périodes d'échantillonnage), les graphiques réalisés ne permettent pas de mettre en évidence une quelconque relation entre les facteurs F et la qualité des échantillons. Les données rassemblées prouvent cependant que, chaque fois que des pertes de fluide de forage ont été mesurées ou calculées, les facteurs F10% augmentent au minimum d'une puissance de dix. Une relation semblable n'apparaît par contre pas pour les facteurs F1%. Ces deux renseignements montrent que les différentes parties des courbes de restitution des traceurs, concernées par ces deux facteurs, sont apparemment influencées par des paramètres différents. A remarquer que le facteur F10% se situe généralement sur la zone à pente moyenne de la courbe de restitution, après la descente rapide, tandis que le facteur F1% caractérise la queue presque horizontale. Malgré toutes les incertitudes liées à la détermination de ces facteurs, ils permettent de mettre en évidence que les différentes parties des courbes de restitution des traceurs devraient pouvoir être employées pour obtenir des renseignements sur plusieurs types de mécanismes qui influencent le transport des traceurs dans la roche.

- Le but de ce traitement des données est également de définir les effets des mélanges à l'intérieur du système de prélèvement sur les courbes de restitution des traceurs. Si de tels effets ont une influence prépondérante, ces courbes ne pourraient pas être employées pour déterminer la dispersivité longitudinale A_L selon la méthode proposée par Bear (1979). Les facteurs F10% et F1% ont été comparés aux volumes inclus dans les tubages de test et à l'intérieur des intervalles. Si ces volumes avaient une influence sur les périodes de nettoyage, les facteurs F devraient augmenter lorsque les volumes sont élevés car les mélanges à l'intérieur du système de prélèvement retarderaient le nettoyage des intervalles. Ces mêmes facteurs devraient également être particulièrement élevés lorsque la perméabilité de l'intervalle et les débits prélevés sont faibles car le nettoyage est plus difficile. Les données rassemblées ne mettent pas en évidence une relation pareille.

On peut donc déduire de cette première étape du traitement des données que les courbes de restitution des traceurs ne sont pas perturbées de manière dominante par le système de prélèvement et devraient donc donner l'occasion de calculer des valeurs de dispersivité longitudinale. Il faut pourtant être très prudent en ce qui concerne les volumes de fluide de forage injectés dans la roche ou extraits lors des périodes de débits artésiens ou de pompage avant les tests. L'interprétation des courbes de restitution est en effet influencée par ces chiffres et il est important de les déterminer et de reconnaître leurs conséquences possibles.

7.2 Dispersion hydrodynamique

La détermination de la dispersivité longitudinale A_L se base sur les équations et la méthode graphique décrites au chapitre 2.3.3. Les paramètres qui doivent être déterminés ou calculés pour effectuer les calculs sont les suivants:

- B : hauteur de l'intervalle (m)
- n : porosité cinématique de l'intervalle
- V_i : volume d'eau tracée injecté dans la roche (m^3)
- V_p : incrément de la perte m à la courbe $C/C_0 = f(V_p)$ pour la valeur $C/C_0 = 0,5$ (la pente est alors égale à $m = \frac{1}{\Delta V_p}$)

Comme le volume d'eau tracé injecté V_i n'a pas pu être mesuré sur le terrain avec assez de précision, sa détermination a été effectuée par calcul. Ces résultats sont présentés séparément car ils impliquent des remarques importantes.

7.2.1 Volume de fluide de forage injecté V_i

7.2.1.1 Résultats

Les volumes injectés ont été calculés en intégrant les courbes de restitution des traceurs en fonction des volumes pompés. Les résultats en sont présentés dans le tableau 7.2 qui rassemble également les données nécessaires aux calculs:

- la quantité de traceurs contenue dans l'espace délimité par le système de prélèvement $\Sigma C_{osyst.}$, qui est égale à la concentration dans le système au début du test multipliée par les volumes

Tableau 7.2: Volumes injectés calculés par la somme des concentrations des traceurs mesurées pendant les périodes de nettoyage.

Test	C ₀ (g/l)		B _{Int.} (m)	V _{Int.} (m ³)	V _{Tub.} (m ³)	ΣV _C (m ³)	Contamlnation %U	ΣC _P (g)		ΣC _P ext.(g)		ΣC _{osyst.} (g)		V _I (m ³)		V _I ext.(m ³)	
	U	mT						U	mT	U	mT	U	mT	U	mT	U	mT
BOE 400	2,5	5,5	11,2	0,22	1,15	2,73	0,60	0,58	3,99	7,88	-	3,43	7,54	0,23	0,06	-	-
80E 621	0,68	11,5	5,6	0,11	1,84	11,70	2,50	2,35	1,82	31,22	1,86	32,00	1,33	22,43	0,72	0,76	0,78
SHA 1571	6,8	18,8	13,2	1,73	6,82	111,37	1,70	2,50	118,6	315,7	123,8	329,7	58,14	160,74	8,9	8,2	9,66
SHA 1888	10,0	10,8	8,8	0,13	7,86	209,26	0,70	1,10	338,3	485,7	-	-	79,9	86,29	25,8	37,0	-
KAI 114	5,82	20,54	32,9	1,20	0,76	50,89	0,38	0,30	30,8	127,2	-	-	11,41	40,26	3,3	4,2	-
KAI 483	9,4	17,2	14,3	0,23	2,60	67,29	0,64	0,58	30,8	56,5	-	-	26,6	49,19	0,44	0,42	-
LEU 75	-	23,7	43,0	1,60	8,60	110,23	-	1,90	-	336,3	-	-	-	241,74	-	4,0	-
LEU 923/1	7,15	19,5	13,5	0,23	5,66	11,25	3,50	3,90	49,2	139,5	49,7	140,9	42,11	114,86	0,99	1,26	1,06
LEU 923/2	7,15	19,5	13,5	0,23	5,66	9,07	11,80	12,70	46,3	121,1	47,5	124,1	42,11	114,86	0,59	0,32	0,76
LEU 1643	6,8	18,1	11,9	0,18	6,64	170,86	0,80	0,70	106,6	294,5	-	-	46,38	123,44	8,9	9,5	-

Légende: U: uranine Co: concentration des traceurs dans le fluide de forage

mT: mTFMBA B_{Int}: hauteur de l'intervalle

ext: extrapolé V_{Int}: volume de l'intervalle

(chap.6.3.2.2) V_{Tub}: volume des tubes

ΣV_C: volume extrait corrigé cumulé

ΣC_P: concentration totale des traceurs récupérée pendant l'échantillonnage

ΣC_{osyst.}: concentration totale des traceurs comprises dans le système de prélèvement

V_I: volume de fluide de forage injecté dans la roche

considérées donc $C_0 (V_{\text{tubes}} + V_{\text{intervalle}})$. Cette quantité doit d'abord être évacuée avant que l'eau souterraine plus ou moins polluée par les fluides de forage n'arrive à la surface.

- la quantité totale de traceur récupérée pendant l'échantillonnage, ΣC_p , est calculée en connaissant la concentration des traceurs en fonction des volumes pompés. Pour certains des tests où la concentration des traceurs à la fin des périodes de nettoyage n'est pas encore négligeable, la concentration totale a été extrapolée $\Sigma C_{p\text{ext}}$ selon la méthode décrite au chapitre 6.3.2.2.

7.2.1.2 Discussion

Avant de commenter chacun des résultats de V_i , il faut relever que toutes les valeurs sont positives, c'est-à-dire qu'une quantité de traceur toujours plus élevée que la quantité contenue uniquement dans le système de prélèvement a été récupérée pendant les périodes de nettoyage. Ceci prouve qu'au moins lorsque des pertes de fluide de forage ont eu lieu la forme des courbes de restitution ne peut pas être seulement influencée par le système de prélèvement.

Le tableau 7.3 permet de comparer les données obtenues en étudiant les rapports journaliers des compagnies de forage aux valeurs calculées.

Tableau 7.3: Comparaison entre les volumes des pertes mesurés et les volumes injectés calculés.

No.Test	Volume des pertes mesuré (m ³)	Volume injecté calculé (m ³)	Volume artésien mesuré avant test (m ³)
BOE 400	0	0,1 - 0,2	0,1
BOE 621	0	0,8	1,5
SHA 1571	21,0	9,0 - 9,7	27,0
SHA 1888	3,8	26 - 37	0
KAI 114	0	3,3 - 4,2	0
KAI 483	0	0,4	2,0
LEU 75	11,1	4,0	0
LEU 923/1	0	1,1 - 1,3	0,2
LEU 923/2	0	0,5 - 0,8	0,2
LEU 1643	0	8,9 - 9,5	0,9

Les valeurs du tableau 7.3 montrent que:

- les mesures des compagnies de forage sont imprécises et insuffisantes. Par exemple, des pertes de 4 à 9 m³ n'ont pas été annoncées pour les intervalles KAI 483 et LEU 1643, tandis que 11 m³ ont été mesurés pour LEU 75 et seuls 4 m³ calculés.
- les valeurs obtenues par calcul sont perturbées par les périodes de débit artésien avant les tests et qu'il faudra donc dans ces cas interpréter les valeurs de dispersivité avec précaution. Le test SHA 1571 met particulièrement bien en évidence ce mécanisme: les volumes injectés n'atteignent que 9 à 10 m³, alors que plus de 20 m³ ont été en fait perdus dans la roche. Une partie de ce volume a donc été déjà récupérée lors de la période de pompage (27 m³) qui a précédé l'échantillonnage.

Après ces remarques générales, les résultats individuels peuvent être commentés:

- A part le test BOE 400, l'ordre de grandeur des débits injectés reste semblable pour les deux traceurs. Cette exception est expliquée par le fait qu'un nombre restreint de valeurs est à disposition pour ce test. Seule une valeur des traceurs se situe entre le pallier à C/C₀ environ égal à 1 (eau tracée dans le système de prélèvement) et le pallier à C/C₀ inférieur à 0,01 (eau souterraine). Comme les deux concentrations mesurées diffèrent notamment (0,72 % pour l'uranine et 0,34 % pour le mTFMBA), le calcul par intégration du volume injecté fournit deux résultats différents. Les renseignements à disposition ne permettent pas de déterminer laquelle de ces valeurs, 0,06 ou 0,23 m³, est la plus représentative. Malgré une très courte période de débit artésien précédent le test d'échantillonnage (environ 0,1 m³), on peut admettre que même si une quantité de fluide de forage a été injectée dans la roche, ce volume est très faible.
- Les résultats des tests BOE 621 et KAI 483 seront influencés par les périodes de débit artésien avant les échantillonnages. Malgré que ces volumes artésiens n'atteignent que 1,5 et environ 2 m³, ils représentent une phase de nettoyage importante équivalente à 14 et plus de 20 fois le volume de l'intervalle.

- Le test de SHA 1571 met en évidence que la période de débit (27 m^3) précédent l'échantillonnage a permis de soutirer environ la moitié du volume de fluide de forage injecté (à supposer que les 21 m^3 de pertes reportés soient justes). Les valeurs de dispersivité longitudinale déterminées en employant le volume injecté calculé seront donc faussées.
- Dans le cas de SHA 1888, des quantités de fluide considérables (environ 30 m^3) ont été perdues sans avoir été relevées par la compagnie de forage. Le volume de perte reporté (environ 4 m^3) a été déterminé en étudiant les variations du niveau d'eau dans le forage avant le test pendant la période dite intermédiaire (entre le percement de l'intervalle et le test). Comme les potentiels hydrauliques dans les roches cristallines se situent au-dessous du niveau du sol, il est probable que ces 30 m^3 n'aient pas eu lieu pendant la phase de forage proprement-dite mais pendant les travaux préparatoires pour les tests hydrauliques et n'aient pas pu être contrôlés. Ce test n'est pas perturbé par une phase de débit artésien précédente et devrait fournir des résultats de dispersivité longitudinale représentatifs.
- Le test KAI 114 prouve à nouveau qu'il est nécessaire d'avoir à disposition des données de pertes de fluide plus précises que celles enregistrées sur le forage, pour pouvoir procéder à l'interprétation des courbes de restitution des traceurs.
- Les valeurs calculées pour le test LEU 75 sont par contre inférieures à celles annoncées par la compagnie de forage. Dans les calculs de dispersivité, la valeur calculée sera tout de fois préférée car il n'y a pas de raison de la mettre en doute (pas de débit artésien avant le test, le traceur employé mTFMBA ne subit pas de sorption et ne peut pas avoir été "retenu" dans la roche).
- Le test LEU 923 a pu être divisé en deux phases: l'une concerne les échantillons récoltés en profondeur dans les tubes à l'aide d'une bouteille, juste au-dessus de la zone isolée, l'autre rassemble les mesures effectuées pendant les périodes de swabbing. Les valeurs obtenues pour la concentration totale des traceurs

récupérée ΣC_p sont très proches et prouvent que la détermination des débits pompés est fiable, malgré que les méthodes d'échantillonnage soient très différentes. Avec les deux traceurs, les valeurs calculées pour la période de swabbing sont quelque peu inférieures à celles déterminées avec les bouteilles. En effet, le nettoyage n'a été réalisé que jusqu'à 12% à la profondeur atteinte par le swabbing tool dans les tubes. La détermination des quantités finales est donc dans ce cas moins précise. Ceci explique également la différence des volumes injectés V_i . Pour l'interprétation des courbes de restitution des traceurs, le volume injecté calculé maximal devrait permettre d'obtenir des résultats plus fiables. Vu la perméabilité restreinte de la roche ($K = 10^{-9}$ m/s), le volume d'eau qui a pu s'écouler naturellement de la roche sous l'effet de potentiel artésien est faible, malgré une période d'attente entre le percement de l'intervalle et le test relativement longue (15 jours). Ce volume de $0,2 \text{ m}^3$ équivaut environ au volume de l'intervalle et n'a pas d'influence prépondérante sur les calculs de dispersivité.

- Le test LEU 1643 devrait également fournir de bons résultats car la phase de nettoyage a été effectuée avec soin et les volumes pompés sont élevés. Le calcul des volumes injectés est donc précis et la courte période de débit artésien avant le test a un effet négligeable par rapport à la durée du nettoyage.

Le calcul et la discussion des volumes injectés V_i permettent de conclure que, parmi les 10 tests traités, seuls cinq (SHA 1888, KAI 114, LEU 75, LEU 923/1, LEU 1643) fournissent des valeurs de dispersivité longitudinale représentatives.

7.2.2 Calcul de la dispersivité longitudinale A_L

7.2.2.1 Résultats

Les courbes de restitution des traceurs en fonction du débit pompé figurent dans les annexes 7.1 à 7.9. Elles ont été traitées selon la méthode graphique citée pour en déduire les valeurs de ΔV_p qui entrent dans la résolution de l'équation de dispersion. Les résultats de dispersivité longitudinale sont présentés dans le texte au tableau 7.4. Avant de les discuter, quelques remarques doivent être faites concernant les valeurs qui figurent sur ce tableau, c'est-à-dire ΔV_p , V_i , $V_{i\text{ext.}}$, B, n.

- La pente des courbes de restitution des traceurs à la valeur $C/C_0 = 0,5$ a été déterminée manuellement. Cette pente, qui est égale à $1/\Delta V_p$ comme le montre la figure 2.3 du chapitre 2.3.3, ne varie en fait que très peu autour de la valeur $C/C_0 = 0,5$. Même si la concentration relative des traceurs n'est précise qu'à plus ou moins 10%, en raison de la difficulté à définir une valeur de référence due aux variations de concentration des traceurs dans les fluides de forage, la valeur de ΔV_p ne subit la plupart du temps aucun changement si elle est déterminée par $C/C_0 = 0,5 \pm 0,05$. On traite en effet dans ces calculs la partie de la courbe de restitution qui est marquée par une descente rapide entre les valeurs de $C/C_0 = 1,0$ et $C/C_0 = 0,1$. Seul dans le cas du test LEU 1643, le ΔV_p déterminé pour $C/C_0 = 0,45$ au lieu de 0,5 influence la valeur de dispersivité longitudinale (0,37 m à la place de 0,27 m).
- Le calcul des volumes injectés V_i et V_{iext} a déjà été discuté en détail dans le chapitre précédent. En fonction de ces remarques, certains des résultats de dispersivité ne peuvent pas être considérés comme valables, il s'agit des tests BOE 621, SHA 1571, KAI 483. Les volumes injectés calculés à partir des deux traceurs montrent déjà des écarts atteignant 40%. Ces différences se marquent également sur les valeurs de dispersivité calculées.
- Le produit $B \cdot n$ où B = hauteur de l'intervalle et n = porosité cinématique doit aussi être déterminé. Afin d'obtenir un ordre de grandeur de la dispersivité longitudinale, certaines hypothèses doivent être faites. Les données de porosité ouverte obtenues par les mesures en laboratoire (mercure sous pression) varient entre 0,2 et 4% pour la matrice cristalline selon son degré d'altération. D'après les relevés géologiques et hydrogéologiques, les eaux circulent dans les zones de déformation ou de fracture principalement le long de chenaux. Une valeur moyenne de porosité cinématique de 3,3% a été calculée dans le forage de Boettstein pour les zones déformées. Bien que l'écoulement se passe seulement dans une partie de l'intervalle, une porosité moyenne sur toute la hauteur de l'intervalle de l'ordre de 3,3% peut être admise en première approximation pour les tests effectués dans les roches cristallines. Les mêmes

mesures de laboratoire effectuées sur les échantillons de la série sédimentaire (voir NTB 85-02) ont livré des valeurs de 4 à 9% pour le Buntsandstein de Kaisten et de 0,2 - 3% pour les parties massives et 6 à 17% pour les parties poreuses du Muschelkalk supérieur de Leuggern. Des porosités cinématiques moyennes de 5% pour le test KAI 114 et 10% pour LEU 75 peuvent être acceptées sur la hauteur totale de l'intervalle pour calculer les valeurs de dispersivité longitudinales.

Après avoir commenté les valeurs individuelles qui entrent dans le calcul de la dispersivité longitudinale A_L , les résultats eux-mêmes peuvent être discutés.

7.2.2.2 Discussion

Le tableau 7.4 résume les résultats de dispersivité longitudinale A_L obtenus qui indiquent des valeurs variant de 0,02 à 0,85 mètres. Comme il ne paraît pas exister de tendance entre ces paramètres: des valeurs de A_L maximale (LEU 1643) et minimale (KAI 483) sont par exemple obtenues malgré des conditions hydrogéologiques apparemment très semblables, chacun des résultats sera commenté individuellement dans le but de pouvoir ensuite en tirer des conclusions plus générales.

- Les A_L déterminées pour le test BOE 400 doivent être considérées avec réserve en raison de la qualité des données (une seule mesure des traceurs se situe sur la partie de la courbe de restitution qui comprend la concentration relative $C/C_0 = 0,5$). Des deux résultats (0,03 ou 0,85 m), il n'est pas possible de savoir lequel est représentatif.
- Les valeurs A_L obtenues pour le test BOE 621, ainsi que KAI 483 sont faibles (0,02 m) et probablement influencées par la période de nettoyage de l'intervalle qui a précédé le test. Ces valeurs ne peuvent pas être considérées comme représentatives.
- Les résultats du test SHA 1571 sont également faussés par la période de pompage avant le test. Comme le volume injecté calculé en intégrant la courbe de restitution des traceurs est trop faible, on peut essayer d'employer dans les calculs le volume de perte de fluide de forage.

Tableau 7.4: Dispersivités longitudinales, calcul par méthode analytique approchée (Mercado 1966)

Test	ΔV_p (m ³)		$(\Delta V_p/V_1)^2$		$(\Delta V_p/V_{i\text{ext}})^2$		$A_L \sqrt{Bn}$ (m ^{3/2})		$A_L \sqrt{Bn^{\text{ext}}}$ (m ^{3/2})		$A_L \sqrt{n}$ (m)		$A_L \sqrt{n^{\text{ext}}}$ (m)		A_L (m)	
	U	mT	U	mT	U	mT	U	mT	U	mT	U	mT	U	mT	U	mT
BOE 400	0,35	0,67	2,26	124,7	-	-	0,018	0,514	-	-	0,006	0,154	-	-	0,03	0,85
BOE 621	0,58	0,58	0,65	0,58	0,55	0,49	0,009	0,009	0,008	0,008	0,004	0,004	0,004	0,003	0,02	0,02
SHA 1571	12,5	-	1,97	-	1,67	-	0,08	-	0,09	-	0,02	-	0,02	-	-	0,13
SHA 1888	26,5	41,2	1,05	1,24	-	-	0,09	0,13	-	-	0,03	0,04	-	-	0,17	0,24
KAI 114	4,4	6,0	1,77	2,04	-	-	0,05	0,07	-	-	0,009	0,012	-	-	0,04	0,055
KAI 483	0,5	0,5	1,29	1,42	-	-	0,014	0,016	-	-	0,004	0,004	-	-	0,02	0,02
LEU 75	-	9,85	-	6,07	-	-	-	0,20	-	-	-	0,03	-	-	-	0,10
LEU 923/1	1,61	1,82	2,64	2,09	2,31	1,84	0,044	0,04	0,040	0,036	0,012	0,011	0,01	0,01	0,11	0,10
LEU 923/2	1,62	1,65	7,5	26,6	4,5	12,3	0,097	0,25	0,066	0,14	0,026	0,069	0,02	0,03	0,18	0,39
LEU 1643	16,41	17,25	3,4	3,3	-	-	0,17	0,17	-	-	0,05	0,05	-	-	0,27	0,27

Légende: ΔV_p : volume pompé pour tangente à la valeur $C/C_0 = 0,5$ (voir texte)
 V_i : volume injecté
 A_L : dispersivité longitudinale
 B : hauteur de l'intervalle
 n : porosité cinématique
 ext : extrapolé
 U : uranine
 mT : mTFMBA
 $-$: non déterminé

1) calcul de A_L avec $n = 3,3\%$
 2) calcul de A_L avec $n = 5\%$
 3) calcul de A_L avec $n = 10\%$
 4) calcul de A_L avec $n = 1\%$

Dans ce cas, la A_L est égale à 0,04 m. Ceci montre qu'il ne suffit pas de connaître le volume de fluide injecté pour obtenir de meilleures valeurs. Ne connaissant pas l'effet du nettoyage avant le test, il est impossible de savoir dans quelle proportion la descente de la courbe de restitution des traceurs est accélérée et donc dans quelle mesure la valeur de dispersivité est diminuée.

- Les tests SHA 1888, KAI 114, LEU 75, LEU 923/1, LEU 1643 devraient fournir des dispersivités représentatives vu les conditions initiales propices (volumes injectés connus, pas de perturbation importante de la période de nettoyage par des activités antérieures au test).
- Les valeurs du test LEU 923/2, bien qu'apparemment deux à trois fois plus élevées que celles du test 923/1 ne sont pas significatives. Cette différence ne provient que du fait que les volumes injectés V_i de 923/2 sont plus faibles. Comme il l'a été cité au chapitre 7.2.1.2, il est préférable d'employer dans les calculs les volumes injectés V_i déterminés grâce au test 923/1 car ils sont plus précis. Les valeurs de dispersivité recalculées pour 923/2 sont donc tout à fait semblables (0,11 - 0,08 m) à celles de 923/1. Cette constatation permet de relever un fait important: les mélanges à l'intérieur des tubages de test sont négligeables. Si ce n'était pas le cas, les résultats du test 923/2, basés sur des mesures de traceurs effectuées sur les échantillons récoltés par swabbing à une profondeur d'environ 300 m, auraient fourni à tort des valeurs de dispersivité plus élevées que celles déterminées grâce aux échantillons pris juste au-dessus des obturateurs (environ 900 m).

Le tableau 7.5 résume enfin les résultats des cinq tests considérés comme significatifs et y met en parallèle les perméabilités mesurées par les essais hydrauliques, ainsi que les informations géologiques. Il va permettre ainsi de tirer des conclusions générales quant aux chiffres obtenus.

Excepté les tests où les volumes injectés varient selon qu'ils ont été calculés sur la base du traceur uranine ou mTFMBA, les couples de valeur $A_L \sqrt{B \cdot n}$ sont comparables. Les écarts ne sont pas systématiquement en faveur d'un des deux traceurs. Dans le cadre de ces calculs, la réponse du traceur réputé comme sorbant (uranine) et inerte (mTFMBA) ne diffère donc pas. Ceci peut provenir du fait que

Tableau 7.5: Comparaison entre la dispersivité longitudinale, la perméabilité et la géologie des zones d'écoulement

Test	$A_L \sqrt{Bn}$ (m ^{3/2})		$A_L \sqrt{n}$ (m)		A_L (m)	K (m/e)	Géologie de la zone d'écoulement
	U	mT	U	mT			
SHA 1888	0,09	0,13	0,03	0,04	0,17	0,24	>1·10 ⁻⁶ Syénite à biotite, diaclases ouvertes
KAI 114	0,05	0,07	0,01	0,01	0,04	0,06	Grès fin à grossier
LEU 75	-	0,20	-	0,03	-	0,10	Dolomicrite poreuse à caverneuse
LEU 923/1	0,04	0,04	0,01	0,01	0,10	0,10	Gneiss à biotite altéré, diaclases ouvertes et filon aplitique
LEU 1643	0,17	0,17	0,05	0,05	0,27	0,27	2·10 ⁻⁶ Granite à biotite, diaclases ouvertes dans zone déformée

Légende: A_L : dispersivité longitudinale
n: porosité
ext: extrapolé
K: perméabilité

les phénomènes de sorption sont en effet négligeables dans cet environnement géologique, ces conditions de forage et pendant la durée des tests, ou que la méthode de détermination n'est pas assez précise pour mettre en évidence ce mécanisme.

Même si l'on n'admet pas les valeurs de porosité moyenne cinématique proposées, les valeurs $A_L \sqrt{Bn}$ ne montrent pas de relation avec les perméabilités, comme c'est aussi le cas pour les autres chiffres du tableau $A_L \sqrt{n}$, A_L . La dispersivité longitudinale varie entre 0,05 et 0,10 m, les faibles valeurs étant apparemment caractéristiques des roches à écoulement de type poreux (KAI 114: Buntsandstein, LEU 75: Muschelkalk supérieur) ou des roches cristallines à faible perméabilité (LEU 923). Afin de pousser l'interprétation de ces chiffres, les équations décrites au chapitre 2.3.3 ont été reprises pour déterminer le rayon du nuage d'eau tracée, c'est-à-dire la distance parcourue. Selon l'équation 2, le rayon moyen de la zone tracée pendant la phase d'injection R est égal à:

$$R = \sqrt{\frac{V_i}{Bn\pi}}$$

où V_i = volume d'eau injecté dans la roche (m^3)
 B = hauteur de l'intervalle (m)
 n = porosité cinématique

Ce calcul devrait permettre de déterminer si les valeurs de dispersivité dépendent de la distance parcourue, comme il l'est cité dans la littérature.

Dans le cas des roches cristallines, l'écoulement a en fait lieu dans les zones de fracture, le long de micro-chenaux. La distance parcourue R par le traceur peut être déterminée de plusieurs façons:

- en employant la valeur de porosité cinématique moyenne sur toute la hauteur de l'intervalle utilisée dans les calculs de dispersivité,
- en supposant l'existence d'une fracture de porosité $n = 100\%$ et d'ouverture variable, par exemple 1 mm et 1 cm,
- en admettant que l'eau se déplace dans des canaux de section circulaire d'1 cm de diamètre qui

occupent environ le quart d'un plan de fracture de rayon R, avec

$$R = \sqrt{\frac{4 \cdot l}{\pi}}$$

$$\text{où } l = V_i / \pi \cdot r^2$$

Les résultats présentés au tableau 7.6 montrent que la distance parcourue (deux fois le rayon tracé pendant les phases d'injection et pompage) pour les tests dans les roches sédimentaires est faible (1 à 2 m environ) et que les dispersivités longitudinales A_L sont du même ordre de grandeur 1,5 à 3 m. Ces chiffres montrent que ces valeurs de dispersivité ne représentent peut-être pas le phénomène de dispersion mais sont un artefact dû éventuellement à des mécanismes de mélange advectifs aux alentours du forage. Dans les roches cristallines, les distances parcourues sont également du même ordre de grandeur que les dispersivités si on les calcule avec les valeurs de porosité cinématique moyennes. Les distances parcourues passent par contre à 30-60 m et même 280-1400 m si on considère un plan de fracture tout à fait ouvert ou partiellement occupé par des micro-chenaux. Bien entendu, les valeurs de dispersivité déterminées à partir du produit $A_L \sqrt{B \cdot n}$ ne sont plus valables, de telle sorte que des comparaisons sont impossibles et que ces calculs permettent plutôt de mettre en évidence les principales limites de la méthode employée.

Tableau 7.6: Calcul du rayon de la zone tracée pendant la phase d'injection des traceurs.

No. Test	A_L (m)	V_i (m ³)	B (m)	R_{poreux} (m)			
				n=18	n=3,38	n=58	n=108
SHA 1888	0,20	25,8-37,0	8,8	9,7-11,6	5,3-6,4	-	-
KAI 114	0,05	3,3-4,2	32,9	-	-	0,8-0,9	-
LEU 75	0,10	4,0	43,0	-	-	-	0,5
LEU 923	0,10	1,0-1,3	13,5	1,5-1,7	-	-	-
LEU 1643	0,27	8,9-9,5	11,9	4,9-5,0	2,7-2,8	-	-

Ces calculs montrent qu'il est particulièrement difficile d'interpréter les valeurs de dispersivité obtenues ici, malgré que ces chiffres soient comparables aux données de la littérature. Les problèmes sont dus principalement au manque de contrôle de la porosité cinématique, aussi bien pour un milieu poreux que fracturé. Les volumes injectés V_i introduisent également une source d'erreur qui pourrait être supprimée si les tests étaient conçus spécialement pour l'étude de la dispersion et si l'on disposait à la surface d'un système de mesure précis. Cela impliquerait que l'on contrôle avec soin le volume d'eau injecté dans l'intervalle avant le test.

Les résultats obtenus prouvent que les phénomènes de mélange à l'intérieur du système de prélèvement sont négligeables.

Les chiffres calculés paraissent raisonnables mais ne peuvent pas être comparés à ceux de la littérature car la distance de migration n'est pas connue.

8 CONCLUSIONS

Jusqu'alors, les mesures des concentrations des traceurs artificiels ajoutés aux fluides de forage n'intéressaient les collaborateurs associés au programme de forage que parce qu'elles indiquent quelle proportion de fluide de forage est encore présente dans les échantillons. En effet, connaissant le pourcent et le chimisme du fluide de forage inclu dans les échantillons, il est possible d'en corriger les effets et d'obtenir les concentrations des eaux souterraines non-influencées.

En se basant sur l'hypothèse que les fluides de forage qui polluent les eaux souterraines se trouvent non seulement dans le système de prélèvement (tubage de test, intervalle entre les obturateurs), mais aussi dans la roche avoisinante elle-même (si des pertes de fluide ont eu lieu entre le forage de l'intervalle et le test), les courbes de restitution des traceurs pendant la phase de nettoyage du test d'échantillonnage devraient être influencées par les mécanismes de transport des substances dissoutes dans la roche.

L'allure des courbes de restitution des traceurs pendant les phases de nettoyage qui précèdent les échantillonnages est donc particulièrement intéressante et fait l'objet du présent rapport car la pente de ces courbes varie selon les tests et permet d'obtenir des renseignements sur les phénomènes de dispersion hydrodynamique.

L'interprétation des courbes n'a de sens que si la concentration relative des traceurs est reportée en fonction des débits pompés. En effet, les phases de nettoyage sont caractérisées par une multitude d'ennuis techniques et d'arrêts qui influencent la forme des courbes $C/C_0 = f(t)$ et les rendent noncomparables. Pour toute concentration des traceurs mesurée au temps t , la valeur du volume d'eau qui s'est effectivement écoulé de l'intervalle testé a été calculée. Les concentrations moyennes des traceurs dans les fluides qui polluent les eaux souterraines, appelées valeurs de référence, ont du être également déterminées, afin de pouvoir reporter la concentration relative des traceurs en fonction des volumes pompés.

Lorsqu'un fluide marqué par un traceur inerte est introduit dans la roche, il se déplace sous l'effet de l'advection et de la dispersion hydrodynamique, de telle sorte que le contact entre le nuage tracé et l'eau souterraine ne reste pas abrupte mais qu'une zone de mélange se développe.

Si la concentration relative du traceur est mesurée en un point du domaine d'injection, la courbe de restitution est caractérisée par une forme de "S" plus ou moins étalée (Freeze et Cherry, 1979). Dans notre cas, le traceur a été injecté dans la roche pendant les activités de forage puis récupéré pendant une période de pompage qui correspond à la phase de nettoyage de l'intervalle avant l'échantillonnage. Le traceur effectue donc en principe deux fois la distance parcourue pendant la phase d'injection mais en deux sens opposés. La courbe de restitution mesurée au puits doit alors présenter une forme de "S" inversé.

La forme des courbes de restitution des tests étudiés est bien en "S" inversé, comme le prévoit la théorie. Il faut cependant noter que le premier pallier à $C/C_0 = 1$ n'est pas dû à l'écoulement d'eau ayant été en contact avec la roche mais seulement au liquide compris dans le système de prélèvement. En effet, ce dernier est rempli de fluide tracé au début du test et il faut d'abord remplacer ce volume avant d'observer l'eau souterraine mélangée au fluide de forage injecté dans la roche. Toutes les courbes étudiées ont montré une descente plus ou moins accentuée dès que le volume correspondant à celui inclus dans le système de prélèvement ait été évacué.

L'allure des courbes de restitution des traceurs peut donc, en principe, être uniquement influencée par des mélanges dans le système de prélèvement et non dans la roche elle-même. Même si l'écoulement dans les tubages de test est laminaire, on peut s'attendre à une zone de mélange à l'intérieur de l'intervalle qui serait interprétée à tort comme due à la dispersion hydrodynamique. Un tel phénomène pourrait être la cause des tests dont les courbes de restitution sont très rapides et brusquement coupées vers les valeurs C/C_0 proches de 0.

Deux facteurs $F_{10\%}$, $F_{1\%}$ (définition voir chapitre 6.2), comparés aux conditions initiales des tests (volumes de perte de fluide, volumes compris dans le système de prélèvement), ont permis de s'assurer que les valeurs de dispersivité qui seront calculées à partir des courbes de restitution des

traceurs ne peuvent pas être uniquement influencées par le système de prélèvement. Ces facteurs indiquent le nombre de fois que le volume compris dans l'intervalle de test a dû être évacué avant que la pollution par les fluides de forage soit réduite à 10% et 1%.

L'étude des courbes de restitution des traceurs a été alors poursuivie en recherchant une méthode d'interprétation simplifiée qui permette la détermination de la dispersivité longitudinale. Le choix s'est porté sur la méthode analytique approximative employée par Mercado (1966) pour le même type de test en Israël. Cette interprétation nécessite la connaissance du volume d'eau tracé V_i , de la hauteur et la porosité de l'intervalle testé et emploie l'incrément ΔV_{pompe} de la pente de la courbe de restitution $C/C_0 = f(V_{\text{pompe}})$ à la valeur $C/C_0 = 0,5$.

Comme les données de terrain sont insuffisantes, les valeurs des volumes injectés ont été obtenues en intégrant les courbes de restitution des traceurs. Seuls cinq des dix tests traités ont livré des résultats plausibles car la quantité de traceur injectée dans la roche n'a pas pu être déterminée dans tous les cas en raison de périodes de débit artésien ou de pompage avant les tests qui influencent l'allure des courbes et faussent les calculs.

Cette approche n'est pas tout à fait rigoureuse car il se pourrait qu'une partie du traceur ne soit pas récupérée pendant le test, c'est-à-dire emprisonnée dans la roche. Il est impossible de contrôler de tels effets, vu que les volumes injectés ne sont pas connus. Une des hypothèses de base de la résolution de l'équation de dispersion, à savoir la loi de conservation de masse, n'est donc éventuellement pas respectée dans ce type de test.

Les autres paramètres qui entrent dans le calcul de la dispersivité longitudinale sont également sujets à des hypothèses. Excepté pour les intervalles situés dans les roches à porosité intersticielle, où la porosité cinématique n peut être déterminée à partir des mesures de laboratoire et des logs géophysiques sur toute la hauteur de l'intervalle B, ces mêmes valeurs n'ont pu être qu'estimées pour les roches fracturées, en supposant un milieu homogène équivalent.

Les résultats obtenus indiquent des dispersivités longitudinales A_L variant entre 0,04 et 0,10 m dans les roches sédimentaires et 0,10 et 0,27 m dans les roches cristallines.

Un calcul simplifié de la distance de migration des traceurs (1-2 m) montre que les valeurs de dispersivité calculées pour les roches sédimentaires sont en moyenne d'un ordre de grandeur inférieures.

Dans les roches cristallines, les distances parcourues par les eaux injectées tracées augmentent sensiblement car le cheminement des eaux a lieu grâce à des microchenaux situés sur les plans de fractures. Des calculs simplifiés indiquent des distances de 3 à 1400 m selon les hypothèses. Bien que les conditions hydrogéologiques du milieu fracturé limitent la validité des résultats, vu que les équations de dispersion et la méthode d'interprétation employée ont été développées pour le milieu poreux, les valeurs de dispersivité longitudinale A_L obtenues restent pourtant comparables aux données de la littérature.

Schweizer et al. (1985) ont publié une liste des résultats obtenus sur la base d'essais de traçage entre deux points (injection et pompage à deux endroits différents). Les valeurs passent de quelques centimètres à plusieurs dizaines de mètres, les chiffres élevés apparaissent lors de grandes distances de parcours (200 à 750 m.)

A beaucoup plus petite échelle, Hadermann et Jakob (1987) obtiennent des valeurs de dispersivité de 0,8 à 1,7 cm en laboratoire sur des échantillons (diamètre 4,6 cm, longueur 1 à 2 cm) des forages de Boettstein et Kaisten.

Neretnieks (1985) rapporte aussi des dispersivités de l'ordre du centimètre à quelques mètres en fonction de la distance de migration (0,2 à 50 m).

Une revue des valeurs obtenues en milieu poreux et fracturé publiée par Gelhar et al. (1985) montre une apparente dépendance de A_L de la distance. Les données calculées dans le cadre de cette étude pour les roches cristallines s'intègrent bien dans ce graphe mais le contrôle de la distance parcourue est insuffisant pour pouvoir en tirer des conclusions étayées.

Cette méthode graphique de détermination de la dispersivité à la valeur $C/C_0 = 0,5$ ne tient compte que du début de la courbe de restitution des deux traceurs uranine et mTFMBA, c'est-à-dire la partie accentuée où la concentration relative des traceurs diminue rapidement. Il serait intéressant de pouvoir expliquer la queue de ces courbes. D'après Neretnieks (1985), la diffusion dans la matrice ne joue qu'un rôle insignifiant, lors d'un temps de résidence des traceurs courts.

Une des principales limites de la méthode d'interprétation utilisée dans ce travail (Mercado 1966, Bear 1979) provient du fait que l'on considère un écoulement radial planaire et qu'on néglige ainsi l'effet lié à la connection du système de fracture. Il se pourrait bien que la queue des courbes de restitution soit causée par ce phénomène et que seules les interprétations par modèle numérique puissent tout à fait reproduire les mesures.

Sauty (1978) a présenté une comparaison entre les résultats obtenus par les solutions analytiques approchées et un programme de calcul par différences finies pour des essais de traçage en écoulement radial sur des sites équipés d'un piézomètre. Il montre que dans chacun des cas d'écoulement convergent et divergent avec injection instantanée ou continue, les solutions approximatives sont acceptables, tant que la vitesse d'écoulement est suffisante (nombre de Péclet supérieur à 1-10). L'approche choisie dans ce travail est la même que celle comparée par Sauty lors du cas d'écoulement divergent avec injection continue. Bien qu'il ne soit pas possible de calculer précisément le nombre de Péclet, on obtient des valeurs supérieures à 10 pour les intervalles situés dans les roches sédimentaires. Ces chiffres passent à plus de 20 dans les roches fracturées en fonction des hypothèses du mode d'écoulement choisies (fracture ouverte, chenaux).

On peut conclure de cette étude que les tests traités donnent l'occasion de mettre en évidence les problèmes liés à ce type d'essai (injection et pompage dans un puits unique). Les valeurs de dispersivité longitudinale A_L obtenues donnent tout au plus une idée du domaine où cette grandeur se manifeste (0,04 - 0,27 m), vu les nombreuses hypothèses et approximations qui doivent être faites pour effectuer les calculs.

9 RESUME

9.1 Introduction

Le programme de recherche de la CEDRA dans les roches sédimentaires et cristallines du nord de la Suisse a permis d'effectuer environ soixante-dix tests destinés à fournir entre autre des données hydrochimiques de qualité dans six forages profonds (1,3 à 2,5 km).

Une moitié des échantillonnages a été réalisée dans les gneiss et granites, l'autre moitié se répartit dans la couverture sédimentaire, principalement le Permien, Buntsandstein et Muschelkalk.

Les deux rapports NTB 85-49 et 87-10 traitent des aspects différents des données hydrochimiques:

- Quelles analyses sont représentatives des eaux souterraines?
- Quels paramètres influencent les échantillonnages?

Les buts de ces travaux sont:

- de fournir un choix d'analyses qui puissent être employées pour des interprétations ultérieures,
- de proposer des améliorations des activités sur le terrain ou du traitement des données, afin d'en tirer les meilleurs résultats possibles.
- de déterminer les valeurs de dispersivité longitudinale sur la base des courbes de restitution des traceurs pendant les périodes de nettoyage des intervalles,

9.1.1 Echantillons représentatifs des eaux souterraines (NTB 85-49)

La qualité des données chimiques dépend non seulement de la pollution créée par les fluides de forage mais aussi des méthodes d'échantillonnage et d'analyse. Ces deux derniers points ont été traités dans les publications antérieures de la CEDRA et ne seront pas abordés ici.

Parmi les analyses à disposition, le choix des échantillons représentatifs a été guidé par des contrôles internes (bilans ioniques, analyses parallèles) et par les corrections nécessitées par l'influence des fluides de forage. La méthode employée se base sur:

- le rassemblement de toutes les données géologiques, hydrochimiques et techniques caractéristiques de chaque intervalle,
- une description détaillée des événements qui ont mis en contact les eaux souterraines et les fluides de forage,
- la définition des concentrations dites de référence des traceurs artificiels dans les liquides qui ont pollué les eaux souterraines avant le début des périodes d'échantillonnage,
- la détermination de la qualité des échantillons par calcul de la proportion de fluide de forage incluse,
- la possibilité d'effectuer des corrections en connaissant la composition des fluides de forage ou en ayant à disposition une série d'analyses pendant la période de nettoyage qui permettent d'extrapoler le chimisme des eaux souterraines.

Ce premier travail a permis également de mettre en évidence quelles précautions doivent être prises pendant les activités de forage pour réduire au maximum les effets perturbateurs causés par les mélanges avec les fluides de forage.

9.1.2 Etude des courbes de restitution des traceurs pendant les périodes d'échantillonnage (NTB 87-10)

Les périodes de nettoyage des intervalles qui précèdent les échantillonnages ont fait l'objet de contrôles réguliers, dans le but de pouvoir mieux prévoir les activités de terrain. Les nombreux paramètres recueillis (conductibilité électrique, pH, traceurs artificiels, débits, rabattements...) ont permis de montrer que les courbes de restitution des traceurs ne sont pas semblables pour tous les tests. Les paramètres qui peuvent influencer les échantillonnages sont liés à des mélanges dans le système de prélèvement lui-même ou dans la roche environnante du puits, si des fluides de forage ont été injectés dans la roche. Le mouvement des traceurs est alors régi par les mécanismes d'advection (ou convection) et de dispersion, l'effet de la sorption étant considéré négligeable dans notre cas. L'étude des courbes de restitution des traceurs donne l'occasion de déterminer des valeurs de dispersivité longitudinale A_L en employant par exemple une méthode analytique approximative

développée en Israël pour l'interprétation d'essais d'injection et de pompage dans un seul puits et décrite par Mercado (1966) et Bear (1979).

Le traitement de toutes les données fournit aussi des bases de comparaison pour proposer des améliorations du travail de terrain et des méthodes d'acquisition.

9.2 Données

Les données traitées proviennent des nombreuses entreprises qui ont travaillé sur le terrain:

- Motor Columbus Ingenieurunternehmung AG
- Gartner and Lee AG
- bureaux géologiques:
 - Dr. H. Schmassmann,
 - Dr. H. Jäckli AG,
 - P. Kellerhals et Ch. Haefefi, Geotest AG,
 - Geotechnisches Institut,
- compagnies de forage:
 - Stump Bohr AG, H. Anger's Söhne, Deutag (SAD),
 - Deutsche Schachtbau und Tiefbohrgesellschaft mbH (DST),
- laboratoires:
 - Institut Fresenius,
 - Paul Scherrer Institut (PSI),
 - Gesellschaft für Strahlen- und Umwelt-Forschung (GSF),
 - Geologisch-Physikalische Messungen (Gemag AG).

Elles ont été rassemblées en différents documents selon les besoins, par exemple une documentation géologique, hydrogéologique et technique pour chacun des intervalles, une documentation des variations chimiques des fluides de forage, un résumé des types de fluides de forage qui sont entrés en contact avec un intervalle donné et des paramètres mesurés.

9.3 Traitement des données

Le traitement des données peut être divisé en différentes phases en fonction de l'avancement des recherches.

9.3.1 Qualité des échantillons

La qualité des échantillons a été déterminée en connaissant la concentration moyenne des traceurs artificiels uranine, mTFMBA ajoutés aux liquides de forage, appelée aussi concentration de référence, et leur concentration dans les échantillons. La détermination des concentrations de référence dans les fluides de forage qui ont pollué les eaux souterraines est parfois rendue difficile et même impossible par les conditions initiales des tests, par exemple : un mélange de plusieurs types de fluides de forage, une variation de la concentration des traceurs dans les fluides en contact avec les eaux souterraines.

Lorsque la proportion de fluide de forage dans les échantillons est négligeable (dans la plupart des cas inférieure à 2%), les analyses chimiques ont été considérées comme représentatives du chimisme des eaux souterraines.

Si, par contre, le chimisme des fluides de forage influence de manière trop importante les analyses, des corrections sont nécessaires. Ces corrections ont été effectuées de deux façons:

- connaissant le pourcent, ainsi que le chimisme du fluide de forage inclu dans les échantillons, les concentrations des eaux souterraines non polluées peuvent être calculées,
- ayant à disposition une série d'échantillons pendant la période de nettoyage de l'intervalle qui contiennent une proportion variable connue de fluide de forage, les concentrations peuvent être extrapolées.

9.3.2 Influence des paramètres techniques

Les courbes de restitution des traceurs, c'est-à-dire le déroulement des échantillonnages peut être influencé par toute une série de paramètres qui sont contrôlés à la surface par les équipes responsables des tests, à savoir:

- la durée des activités de forage
- les pertes de fluide de forage
- les volumes écoulés par débit artésien
- les paramètres géométriques (volume de l'intervalle et des tubages de test)
- les volumes pompés ou puisés.

Avant de pouvoir comparer ces paramètres entre eux ou les mettre en relation avec la qualité des échantillons, certaines de ces données de base doivent être préalablement traitées afin que les chiffres employés caractérisent bien l'intervalle considéré par le test et n'intègrent pas la totalité du forage. Par exemple, les volumes pompés ou puisés sont particulièrement influencés par les variations de débit et de rabattement dans le puits. Comme on recherche toujours à mettre en parallèle une concentration de traceur et le volume d'eau extrait de la roche au même moment, les débits effectifs mesurés pendant les périodes de nettoyage ont été étudiés en détail. On a ainsi tenu compte des variations de niveau du rabattement dans le forage, des périodes de remontée lors des arrêts de travail, de la profondeur de l'échantillonnage pour obtenir le volume réel d'eau qui a été extrait de la zone testée.

Afin de mettre en évidence d'éventuelles relations entre ces nombreux paramètres, une série de graphique $y = f(x)$ ont été dessinés. Deux facteurs qui équivalent au nombre de fois que le volume inclu dans l'intervalle doit être évacué avant que la pollution par les fluides de forage atteigne les limites de 10% et 1% ont été définis:

$$F = \frac{V_{\text{extrait}} - V_{\text{tubes}}}{V_{\text{intervalle}}}$$

Les variations de l'allure de la courbe de restitution sont ainsi mieux caractérisées et peuvent être elles-aussi corrélées aux autres paramètres.

9.3.3 Dispersion hydrodynamique

Les fluides de forage marqués par les traceurs artificiels sont injectés dans la roche aux alentours du puits si des pertes de fluide ont lieu. Pendant les périodes de nettoyage des intervalles, on évacue par contre ces mêmes fluides et les remplace par de l'eau souterraine jusqu'à obtenir une pollution négligeable. Le transport des matières dissoutes dans le milieu géologique est dû à l'effet combiné du mouvement de l'eau dit advection et d'un second terme qui caractérise l'extension du fluide sous l'effet des variations de vitesse à l'échelle microscopique (frottement à la surface des grains, divers cheminements, changements de vitesse en fonction de la grandeur des pores).

Des essais d'injection et de pompage dans un puits unique ont été réalisés en Israël par Mercado et Bear dans les années soixante. En assumant que le milieu considéré est suffisamment fracturé et peut être assimilé à un milieu poreux, la méthode d'interprétation proposée par Mercado (1966) et Bear (1979) peut être utilisée pour traiter les données.

Dans les conditions d'un écoulement radial planaire, sans diffusion moléculaire, l'équation générale de dispersion hydrodynamique en milieu poreux homogène infini a été résolue par méthode analytique approchée pour le cas d'une période de pompage suivant l'injection dans un puits unique. La pente m de la courbe de restitution d'un traceur en fonction du volume pompé V_p à la valeur $C/C_0 = 0,5$ où C = concentration du traceur, C_0 = concentration initiale de traceur, permet de déterminer la dispersivité longitudinale A_L (m) selon la relation:

$$A_L(B \cdot n)^{1/2} = \frac{3}{32 \pi^{3/2}} \sqrt{V_i} \left(\frac{\Delta V_p}{V_i} \right)^2$$

où B = hauteur de l'intervalle (m)
 n = porosité cinématique
 V_i = volume de traceur injecté (m^3)
 ΔV_p = incrément de la pente $m = 1/\Delta V_p$ (m^3) à la valeur $C/C_0 = 0,5$ (schéma voir chapitre 2.3.3)

La résolution de cette équation implique des hypothèses ($B \cdot n$), des mesures ou calculs (V_i) et des déterminations graphiques (ΔV_p) qui limitent la validité des résultats.

9.4 Résultats

9.4.1 Qualité des échantillons

L'emploi de traceurs artificiels dans les fluides de forage s'est avéré indispensable à la détermination précise de la qualité des échantillons. Lorsqu'ils n'ont pas été utilisés, seules les mesures de la concentration en tritium des échantillons ont pu indiquer environ la pollution des eaux souterraines (concentration en tritium proche de zéro) par les fluides de forage (concentration en tritium autour de 100 unités).

Des 68 tests réalisés, 41% (28) fournissent d'excellents échantillons qui peuvent être employés directement lors des interprétations hydrochimiques. 34% (23) doivent être considérés avec prudence ou même subir des corrections car les résultats sont influencés par des mélanges avec les fluides de forage. 25% (18) ne représentent pas le chimisme des eaux souterraines et doivent être écartés.

9.4.2 Influence des paramètres techniques

Les graphes $y = f(x)$ des nombreux couples de paramètres compilés n'ont pas permis de mettre en évidence de quelconques relations mathématiques simples entre ces chiffres, vu les conditions techniques et hydrogéologiques différentes des six forages.

Les facteurs $F(10\%)$ montrent par contre que la vitesse de nettoyage des intervalles est influencé par les volumes de pertes de fluide. La queue des courbes de restitution caractérisée par $F(1\%)$ ne semble pas être dépendante des mêmes mécanismes de transport des substances dissoutes. Ces mêmes facteurs donnent aussi l'occasion de s'assurer que les courbes de restitution des traceurs ne sont pas influencées de manière prépondérante par des mélanges à l'intérieur du système de prélèvement lui-même. Le manque de précision des volumes de perte et de débits artésiens limitent également l'emploi des données, car les conditions initiales sont mal définies et les comparaisons deviennent très fastidieuses et difficiles.

9.4.3 Dispersivité longitudinale A_T

Les données géologiques et hydrogéologiques permettent d'énoncer des hypothèses quant à la géométrie des zones d'écoulement dans les roches sédimentaires et cristallines.

Les tests traités ont été choisis de telle sorte qu'un milieu poreux interstitiel (Buntsandstein), un milieu karstique et poreux (Muschelkalk) et un milieu fracturé dans les gneiss et les granites, soient représentés.

La détermination du volume de fluide injecté V_i est indispensable à la résolution de l'équation de dispersion (voir chapitre 2.3.3). Comme les mesures

effectuées sur le forage sont insuffisantes, les volumes injectés ont été calculés en intégrant la courbe de restitution des traceurs. Les résultats prouvent qu'il est très important de disposer de données précises quant aux mouvements de fluide entre le forage et la roche environnante.

La moitié des tests choisis doit être éliminée car les courbes de restitution des traceurs sont influencées par l'histoire de l'intervalle avant les tests.

Les dispersivités longitudinales ne diffèrent pas qu'elles aient été calculées sur la base des traceurs connus dans littérature pour être sujets aux phénomènes de sorption (uranine) ou inertes (mTFMBA). Les phénomènes de sorption sont donc négligeables dans ce cas. Il n'existe pas de relation entre la perméabilité K et la dispersivité longitudinale A_L .

Une évaluation par calcul simplifié de la distance parcourue par les volumes de traceur injectés indique des valeurs d'un ordre de grandeur plus élevé que A_L dans les roches sédimentaires. Ne connaissant pas l'étendue des fractures dans les roches cristallines, il est impossible de déterminer l'extension du nuage tracé. L'hypothèse d'une fracture ouverte (0,1 - 1 cm) ou de chenaux répartis dans le plan de fracture montrent cependant que la distance parcourue est au moins de l'ordre d'une à deux puissance de 10 et même plus élevée, que les dispersivités calculées.

De meilleurs résultats pourraient être obtenus

- si les volumes d'eau injectés étaient mesurés plus précisément,
- si la porosité cinématique était mieux évaluée.

9.5 Conclusions et recommandations

Les forages ont donné l'occasion d'échantillonner des intervalles bien définis et isolés la plupart du temps du reste du puits par des obturateurs. Les programmes de travail ont été conçus de telle sorte qu'il soit possible de déterminer quantitativement la proportion de fluide de forage contenue dans les échantillons. L'addition au fluide de forage de deux traceurs artificiels s'est révélé particulièrement utile, non seulement dans les roches cristallines,

ou de l'eau déionisée fut employée comme fluide de forage, mais aussi dans la couverture sédimentaire qui fut forée avec des boues à bentonite normales ou salées. Les mesures de traceurs pendant les activités de forage et les périodes d'échantillonnage ont fourni les moyens de contrôler non seulement la qualité des échantillons mais aussi le déroulement des périodes de nettoyage des intervalles.

9.5.1 Qualité des échantillons

Afin d'obtenir le maximum d'échantillons très faiblement pollués par les fluides de forage, certaines précautions devraient être respectées:

- la concentration des traceurs dans les fluides de forage devrait rester la plus constante possible,
- un seul type de fluide de forage devrait avoir été en contact avec l'intervalle avant le test,
- les volumes de fluide perdus pendant les activités de forage et les périodes de repos devraient pouvoir être mesurés avec précision,
- les débits artésiens ou les périodes de pompage avant les tests devraient être notés avec soin,
- la composition chimique des fluides de forage devrait être contrôlée régulièrement,
- lors de l'installation du système de prélèvement, le type de fluide, la concentration des traceurs et éventuellement sa composition chimique devraient pouvoir être déterminés,
- les boues à bentonite salées devraient être absolument évitées.

Le but de ces précautions est de faciliter la compréhension des variations et irrégularités des mesures de traceurs au cours des échantillonnages, la détermination des valeurs de référence des traceurs dans les fluides qui polluent les eaux souterraines, ainsi que les corrections nécessitées par une proportion trop importante de fluide de forage dans les échantillons.

9.5.2 Influence des paramètres techniques

L'absence de corrélation entre la qualité des échantillons et les différents paramètres dépendants des activités de forage (durée et volume des pertes de fluide ou des débits artésiens), l'environnement hydrogéologique (type d'écoulement, perméabilité) ou les conditions des tests (volumes contenus à l'intérieur du système de prélèvement) provient du fait que les données de terrain ne sont pas assez précises par rapport au soin avec lequel la concentration des traceurs a été suivie tout au long des activités. Une amélioration de cet état exigerait la possibilité de mesurer plus exactement tous les mouvements de fluides qui ont lieu à la surface.

9.5.3 Dispersivité longitudinale A_L

Les valeurs de dispersivité longitudinale obtenues varient de 0,04 à 0,10 m dans les roches sédimentaires et 0,10 à 0,27 m dans les roches fracturées.

Malheureusement, ces chiffres sont difficiles à mettre en relation avec les résultats décrits dans la littérature car la distance parcourue par les substances dissoutes n'est pas connue.

Le fait qu'une partie des tests a du être éliminée car les résultats sont influencés par les activités antérieures met en évidence qu'il est très important de prévoir et contrôler les activités de terrain avec soin, si des essais semblables veulent être entrepris.

L'interprétation des tests est également rendue particulièrement difficile par les hypothèses au sujet de la porosité cinématique des intervalles.

Vu les conditions initiales des tests inappropriées et le manque de connaissance des paramètres nécessaires à la résolution de l'équation de dispersion selon la méthode analytique approximative employée, les résultats obtenus ne sont qu'indicatifs et permettent surtout de mettre en évidence les difficultés liées à l'interprétation de ce type d'essai.

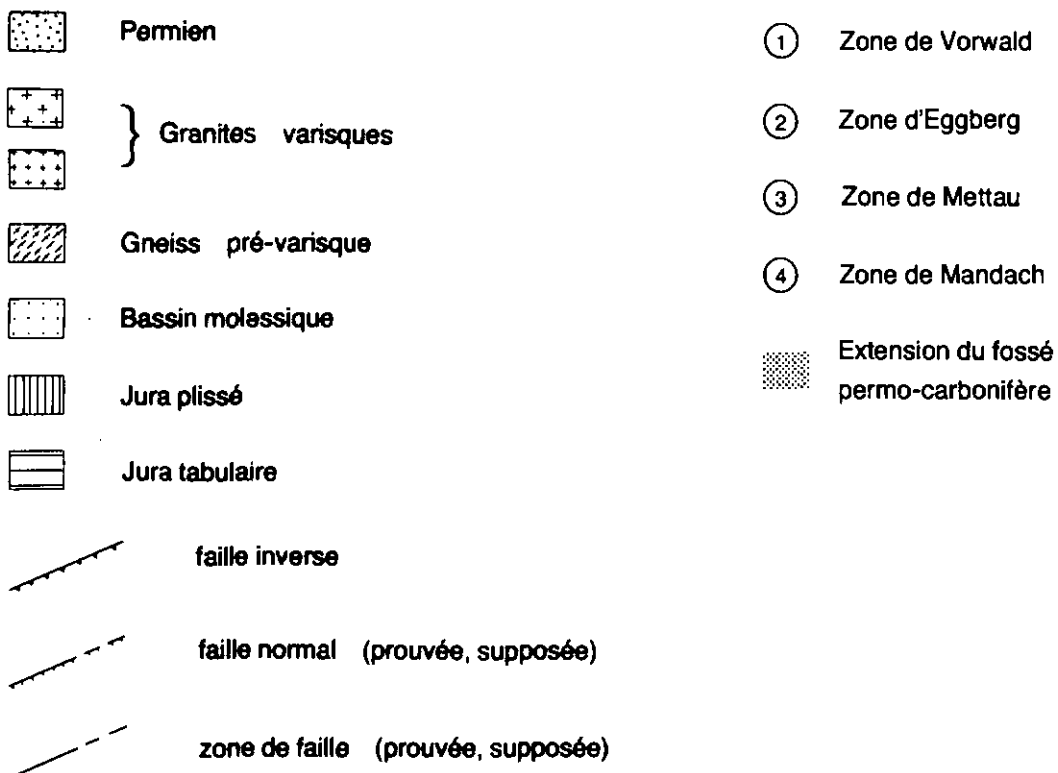
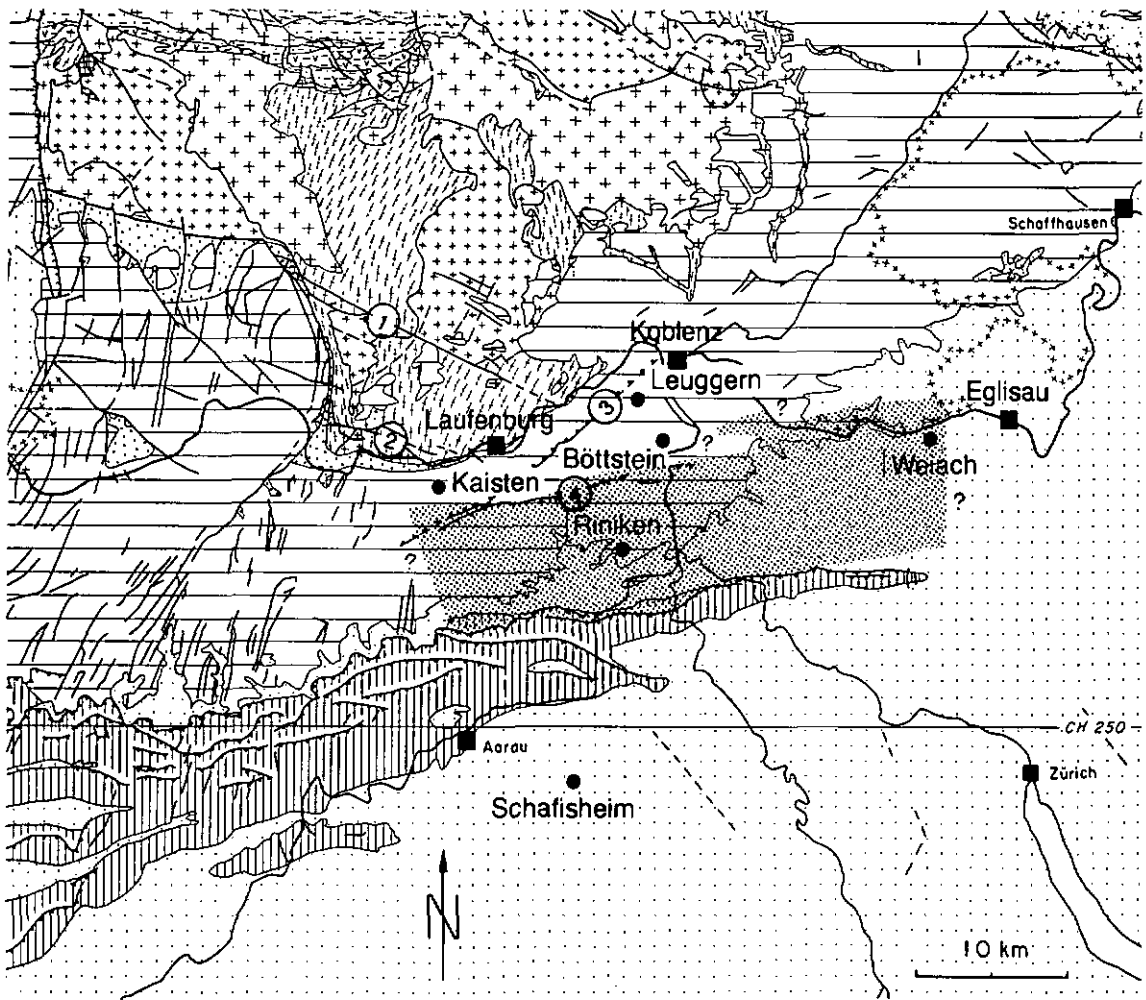
LITTERATURE CONSULTEE

- Abelin H. (1986): Migration in a single fracture. An in-situ experiment in a natural fracture. (Dissertation) Royal Institute of Technology, Department of Chemical Engineering, Stockholm, 169 p.
- Balderer W. (1985): Sondierbohrung Böttstein. Ergebnisse der Isotopenuntersuchungen zur hydrogeologischen Charakterisierung der Tiefengrundwässer. NAGRA Technischer Bericht NTB 85-05, Baden, Schweiz, 260 p.
- Bear J. (1979): Hydraulics of groundwater. Mc Graw-Hill Inc., New York, 569 p.
- Bläsi H.-R., Dronkert H., Matter A., Ramseyer K. (en préparation): Diagenese des Muschelkalk- und des Buntsandsteinaquifers in den NAGRA Tiefbohrungen. NAGRA Technischer Bericht NTB 87-02, Baden, Schweiz.
- Cullen J.J., Stetzenbach K.J., Simpson E.S. (1985): Field studies of solute transport in fractured crystalline rocks near Oracle, Arizona. HYDROGEOLOGY OF ROCKS OF LOW PERMEABILITY. Int. Assoc. of Hydrogeol. - Memoires - Vol. 17, Part 1, p. 332 - 344, Tucson Congress
- Diebold P., Müller W.H. (1985): Szenarien der geologischen Langzeitsicherheit: Risikoanalyse für ein Endlager für hochaktive Abfälle in der Nordschweiz. NAGRA Technischer Bericht NTB 84-26, Baden, Schweiz, 110 p.
- Freeze, R.A., Cherry J.A. (1979): Groundwater. Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., USA, 604 p.
- Gelhar L.W. et al. (1985): A review of field-scale physical solute transport processes in saturated and unsaturated porous media. Electric Power Research Institute EA-4190, Palo Alto, CA, USA.
- Graham D.L., Bryce R.W., Halko D.J. (1985): A field test to assess the effects of drilling fluids on groundwater chemistry collected from Columbia river basalts. HYDROGEOLOGY OF ROCKS OF LOW PERMEABILITY. Int. Assoc. of Hydrogeol. - Memoires - Vol. 17, Part 1, p. 382 - 394, Tucson Congress
- Grisak G.E., Pickens J.F. (1980): Solute transport through fractured media. 1. The effect of matrix diffusion. Water Resources Res.: 16, 4, p. 719 - 730.

- Grisak G.E., Pickens J.F., Cherry J.A. (1980): Solute transport through fractured media. 2. Column study of fractured till. *Water Resources Res.*: 16, 4, p. 731 - 739.
- Grisak G.E., Pickens J.F. (1981): An analytical solution for solute transport through fractured media with matrix diffusion. *J. of Hydrol.*: 52, p. 47 - 57.
- Hadermann J., Jakob A. (1987): Modelling small scale infiltration experiments into bore cores of crystalline rock and break through curves. NAGRA Technischer Bericht NTB 87-07, Baden, Switzerland, 36 p.
- Haug A. (1985): Feldmethoden zur Grundwasserentnahme aus Tiefbohrungen und zur hydrochemischen Ueberwachung der Bohrspülung. NAGRA Technischer Bericht NTB 85-07, Baden, Schweiz, 71 p.
- Hoehn E., Roberts P.V. (1982): Advection - Dispersion interpretation of tracer observations in an aquifer. *Ground Water*: 20, 4, p. 457 - 465
- Hoehn E., Roberts P.V. (1982): Tracer test interpretation in radially divergent groundwater flow. *Beitr. geol. Schweiz - Hydrologie*: 28 II, p. 297 - 308.
- Hoopes J.A., Harleman D.R.F. (1967): Dispersion in radial flow from a recharge well. *J. Geophys. Res.*: 72, 14, p. 3595 - 3607
- Javandel I., Doughty C., Tsang C.-F. (1984): Groundwater transport: Handbook of mathematical models. American Geophys. Union, Washington, USA, Water Resources Monograph Series 10, 228 p.
- Kussmaul H., Antonsen O. (1985): Hydrochemische Labormethoden für das NAGRA-Untersuchungsprogramm. NAGRA Technischer Bericht NTB 85-04, Baden, Schweiz, 83 p.
- Mandel S. (1960): Hydrogeological field work with radioactive tracers in Israel up to may 1960. *Int. Assoc. Scient. Hydrol.*: 52, p. 497 - 502
- de Marsily G. (1985): Flow and transport in fractured rocks: connectivity and scale effect. *HYDROGEOLOGY OF ROCKS OF LOW PERMEABILITY*. Int. Assoc. of Hydrogeol. - Memoires - Vol. 17, Part. 2, p. 267 - 277, Tucson Congress

- Mercado A. (1966): Underground water storage study. Technical report Nr. 12. Recharge and mixing tests at Yavne 20 well field (1963/1964 and 1964/1965). TAHAL-water planning for Israel Ltd. Tel Aviv, Israel, 62 p.
- Mercado A. (1967): The spreading pattern of injected water in a permeability stratified aquifer. Int. Assoc. of Scient. Hydrology, Belgique, SYMPOSIUM OF HAIFA, 19 - 26 March 1967: Publ. No. 72, p. 23 - 36.
- Müller W.H., Huber M., Isler A., Kleboth P. (1984): Erläuterungen zur "Geologischen Karte der zentralen Nordschweiz 1 : 100'000", NAGRA TECHNISCHER Bericht NTB 84-25, Baden, Schweiz, 234 p.
- NAGRA (1985): Sondierbohrung Böttstein: Untersuchungsbericht. NAGRA Technischer Bericht NTB 85-01, Baden, Schweiz, 190 p.
- NAGRA (1986): Ueberlegungen zur Ausdehnung kristallines Wirtgesteine für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in der Nordschweiz. NAGRA technischer Bericht NTB 86-26, Baden, Schweiz, 29 p.
- Neretnieks I., Eriksen T., Tähtinen P. (1982): Tracer movement in a single fissure in granitic rock: some experimental results and their interpretation. Water Resources Res.: 18, 4, p. 849 - 858.
- Neretnieks I. (1985): Transport in fractured rocks. HYDROGEOLOGY OF ROCKS OF LOW PERMEABILITY. Int. Assoc. of Hydrogeol. - Memoires - Vol. 17, Part 1, p. 301 - 318, Tucson Congress.
- Pearson F.J. (1985): Sondierbohrung Böttstein - results of hydrochemical investigations: analysis and interpretation. NAGRA Technischer Bericht NTB 85-06, Baden, Schweiz, 116 p.
- Pearson F.J. (en préparation): Chemistry of ground waters in the Böttstein, Weiach, Riniken, Schafisheim, Kaisten and Leuggern boreholes: Hydrochemically Consistent Data Set, NAGRA Technischer Bericht NTB 86-19, Baden, Schweiz.
- Sauty J.P. (1978): Identification des paramètres du transport hydrodispersif dans les aquifères par interprétation des traçages en écoulement cylindrique convergent ou divergent, J. Hydrol.: 39, p. 69 - 103.

- Schmassmann H., Balderer W., Kanz W., Pekdeger A.
(1984): Beschaffenheit der Tiefengrundwässer in der zentralen Nordschweiz und angrenzenden Gebieten. NAGRA Technischer Bericht NTB 84-21, Baden, Schweiz, 335 p.
- Schweizer R., Stober J., Strayle G. (1985): Auswertungsmöglichkeiten und Ergebnisse von Tracerversuchen im Grundwasser. Abh. geol. Landesamt Baden - Württemberg: 11, p. 93 - 139.
- Sprecher C., Müller W.H. (1986): Geophysikalisches Untersuchungsprogramm Nordschweiz: Reflexionsseismik 82. NAGRA Technischer Bericht NTB 84-15, Baden, Schweiz, 168 p.
- Wittwer C. (1985): Sondierbohrungen Böttstein, Weiach, Riniken, Schafisheim, Kaisten, Leuggern: Probenahmen und chemische Analysen von Grundwässern aus den Sondierbohrungen, NAGRA Technischer Bericht NTB 85-49, Baden, Schweiz, 142 p.



Nagra Cédra Cisra

NTB 87-10

SITUATION GÉOGRAPHIQUE ET TECTONIQUE

VIS.:

OAT. 15-7-87

ANNEXE 3.1














				TYPES D'EAU *	MINÉRALISATION TOTALE	
					mval/l	g/l
17	Keuper	V-V-V				
117		-V-V-				
197	Mk.		163m ■	Na, Ca, (Mg), <u>SO₄</u> , Cl	195.5	6.4
260		-△-△-△-				
307	B.		313 ■	<u>Na</u> , <u>Cl</u> , (HCO ₃), (SO ₄)	61.3	2.0
315			400 ■	<u>Na</u> , SO ₄ , HCO ₃ , Cl	33.5	1.2
		+				
		+				
		+	621 ■	<u>Na</u> , SO ₄ , HCO ₃ , Cl	34.8	1.3
		+				
	Granite	+	792 ■	<u>Na</u> , SO ₄ , HCO ₃ , Cl	36.2	1.3
		+				
		+				
		+				
		+	1326 ■	<u>Na</u> , (Ca), <u>Cl</u> , (SO ₄)	442.0	13.2 [▲]
		+				
1501						

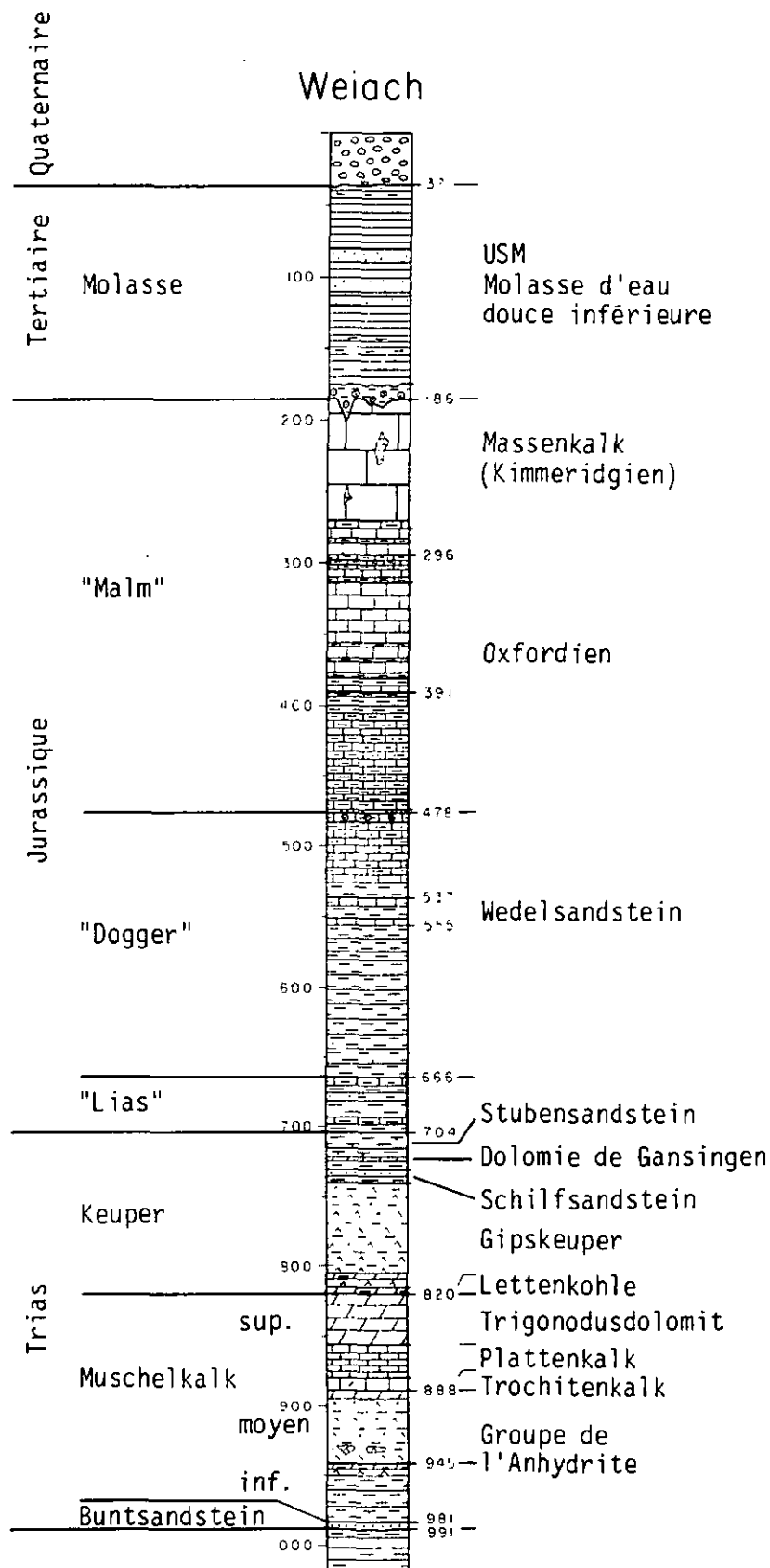
* somme des cations / anions calculée séparément,
ions > 10 mval/l-% cités, ion > 50 mval/l-%. (ion) < 20 mval/l-%

▲ valeurs corrigées pour pollution par les fluides de forage

Nagra Cédra Cibra			NTB 87-10
TYPES D'EAU ET MINÉRALISATION TOTALE			
Böttstein	VIS.	DAT. 15-7-87	ANNEXE 3.2

LEGENDE

-  Conglomérat
-  Brèche
-  Grès
-  Grès fin
-  Argilite
-  Marne
-  Calcaire
-  Calcaire spatique
-  Calcaire karstifié
-  Dolomie
-  Gypse
-  Anhydrite
-  avec ooïde ferreux



Nagra Cédra Cisra

NTB 87-10

WEIACH: COLONNE STRATIGRAPHIQUE JUSQU'AU BUNTSANDSTEIN

VIS.:

DAT.: 15-7-87

ANNEXE 3.2 bis

			TYPES D'EAU *	MINÉRALISATION TOTALE	
				mval/l	g/l
37	Q				
	Tert.				
186					
276	Malm	255m ■	<u>Na</u> , <u>Cl</u>	230.7	6.9
478	Dogger				
666	Lias				
704	Keuper				
819					
888	Mk.	859 ■	<u>Ca</u> , Mg , (<u>Na</u>) , <u>SO₄</u>	95.9	3.3
945					
982	B.	985 -	<u>Na</u> , (<u>Ca</u>) , <u>SO₄</u> , <u>Cl</u>	438.8	14.7
991					
	Perm.	1117 ■	<u>Na</u> , <u>Cl</u> , (<u>SO₄</u>)	1210.7	36.7
1448		1408 ■	<u>Na</u> , <u>Ca</u> , <u>Cl</u>	3399.5	98.2
	Carbon sup.				
2020					
	Gneiss	2218 ■	<u>Na</u> , <u>Cl</u>	212.8	6.5
		2267 ■	<u>Na</u> , <u>Cl</u>	267.1	7.9 [▲]
2482					

* somme des cations / anions calculée séparément

ions > 10 mval/l-% cités. ion > 50 mval/l-%. (ion) < 20 mval/l-%

▲ valeurs corrigées pour pollution par les fluides de forage

Nagra Cédra Cisra			NTB 87-10	
TYPES D'EAU ET MINÉRALISATION TOTALE				
Weiach	VIS.	DAT. 15-7-87	ANNEXE	3.3

			TYPES D'EAU *		MINÉRALISATION TOTALE	
					mval/l	g/l
25	Q					
	Malm					
210						
	Dogger					
451						
489	Lias		516m ■	<u>Na</u> , (Ca) , <u>SO₄</u> , Cl	468.5	15.5
	Keuper					
616			657 ■	<u>Na</u> , (Ca) , <u>Cl</u> , (SO ₄)	473.7	14.5
	Mk.					
794			807 ■	<u>Na</u> , (Ca) , <u>Cl</u> , (SO ₄)	325.9	10.4
816	B					
			966 ■	<u>Na</u> , <u>Cl</u> , (SO ₄)	520.3	15.8 [▲]
			994 ■	<u>Na</u> , <u>Cl</u> , (SO ₄)	527.8	16.3 [▲]
	Perm.					
			1362 ■	<u>Na</u> , <u>Cl</u>	1452.9	43.2 [▲]
1800.5						

* somme des cations / anions calculée séparément

ions > 10 mval/l-% cités. ion > 50 mval/l-%. (ion) < 20 mval/l-%

▲ valeurs corrigées pour pollution par les fluides de forage

Nagra Cédra Cisra			NTB 87-10	
TYPES D'EAU ET MINÉRALISATION TOTALE				
Riniken	VIS..	DAT.. 15-7-87	ANNEXE	3.4

		TYPES D'EAU *		MINÉRALISATION TOTALE	
				mval/l	g/l
244	Quatern.				
576	Tertiaire	558 m ■	<u>Na</u> , <u>Cl</u>	298.6	8.8
843	Malm				
1080	Dogger				
1105	Lias				
1230	Keuper				
1260	Muschelkalk	1260 ■	<u>Na</u> , (<u>Ca</u>), <u>Cl</u> , <u>SO₄</u> , (<u>HCO₃</u>)	517.7	15.3
1478	Buntsst.	1488 ■	<u>Na</u> , (<u>Ca</u>), <u>Cl</u> , <u>SO₄</u>	506.2	16.1
1490		1571 ■	<u>Na</u> , (<u>Ca</u>), <u>Cl</u> , <u>SO₄</u>	246.2	8.3
	Granite + Syénite				
		1888 ■	<u>Na</u> , <u>Cl</u> , (<u>SO₄</u>), (<u>HCO₃</u>)	263.0	8.5
2006		1980 ■	<u>Na</u> , <u>Cl</u> , <u>SO₄</u> , (<u>HCO₃</u>)	260.0	8.5 [▲]

* somme des cations / anions calculée séparément

ions > 10 mval/l-% cités, ion > 50 mval/l-%, (ion) < 20 mval/l-%

▲ valeurs corrigées pour pollution par les fluides de forage

Nagra Cédra Cisca			NTB 87-10	
TYPES D'EAU ET MINÉRALISATION TOTALE				
Schafisheim	VIS.	DAT. 15-7-87	ANNEXE	3.5

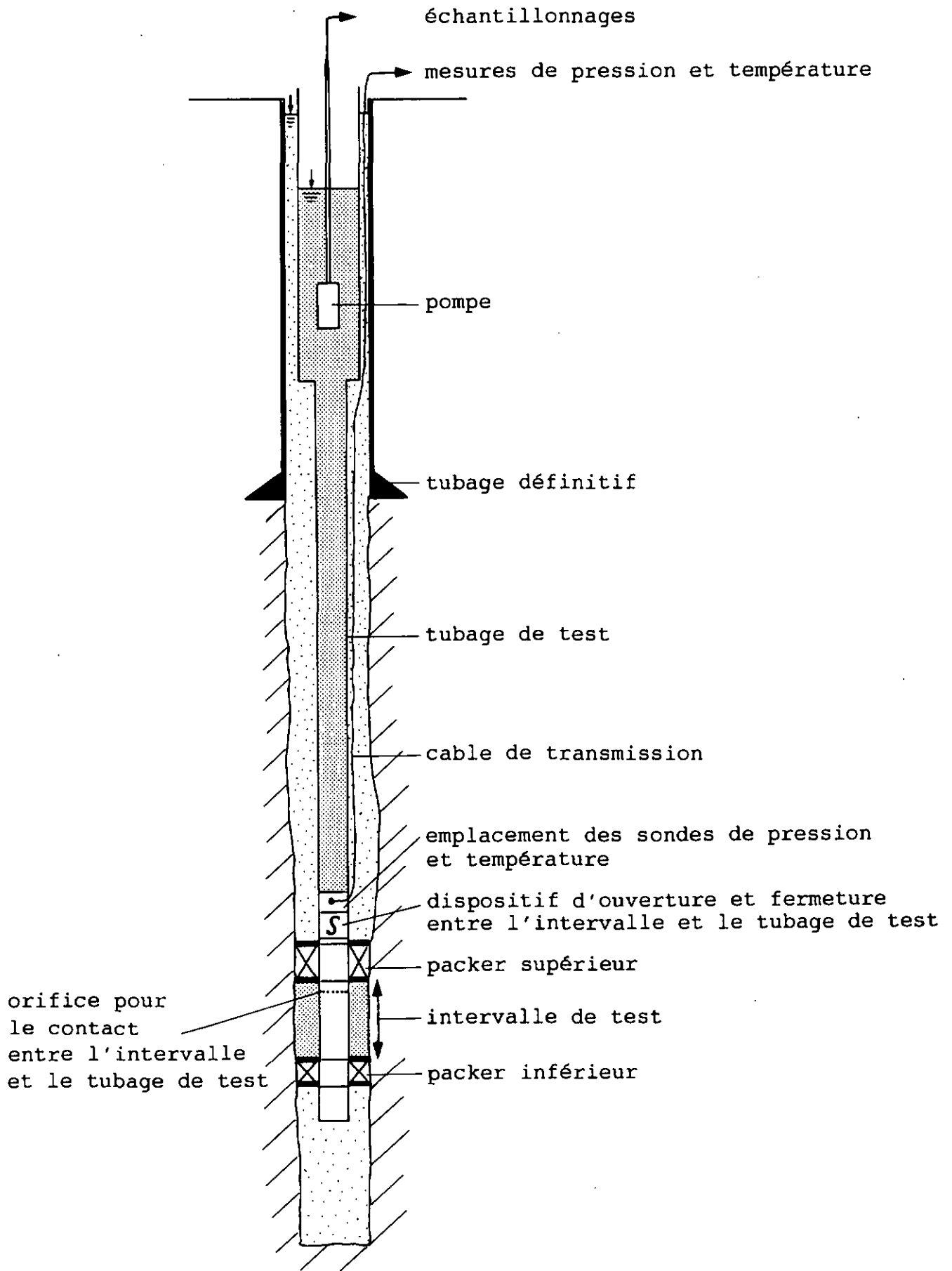
			TYPES D'EAU *		MINÉRALISATION TOTALE	
					mval/l	g/l
45	Quatern.					
94	Mk					
125	Buntsst.		114 m ■	<u>Na</u> , <u>Ca</u> , <u>Cl</u> , <u>SO₄</u>	212.9	6.8
	Perm.					
297	Gneiss	f	284 ■	<u>Na</u> , <u>SO₄</u> , <u>HCO₃</u> , (Cl)	44.4	1.7
			310 ■	<u>Na</u> , <u>SO₄</u> , <u>HCO₃</u> , (Cl)	42.2	1.6
			483 ■	<u>Na</u> , <u>SO₄</u> , <u>HCO₃</u>	41.6	1.6
			656 ■	<u>Na</u> , <u>SO₄</u> , <u>HCO₃</u>	42.8	1.6 [▲]
			819 ■	<u>Na</u> , (Ca) , <u>SO₄</u> , <u>HCO₃</u>	37.8	1.5
			1031 ■	<u>Na</u> , (Ca) , <u>SO₄</u> , <u>HCO₃</u>	37.8	1.5
			1154 ■	<u>Na</u> , (Ca) , <u>SO₄</u> , <u>HCO₃</u> , (Cl)	38.0	1.4
			1272 ■	<u>Na</u> , <u>SO₄</u> , <u>HCO₃</u> , (Cl)	38.4	1.5
1305.6						

* somme des cations / anions calculée séparément

ions > 10 mval/l-% cités, ion > 50 mval/l-%, (ion) < 20 mval/l-%

▲ valeurs corrigées pour pollution par les fluides de forage

Nagra Cédra Cibra			NTB 87-10	
TYPES D'EAU ET MINÉRALISATION TOTALE				
Kaisten	VIS.	DAT. 15-7-87	ANNEXE	3.6



Nagra Cédra Cibra		NTB 87-10
SCHEMA D'UN SYSTEME DE PRELEVEMENT AVEC OBTURATEURS (PACKERS)		
VIS.:	DAT.: 15-7-87	ANNEXE 4.1

Boettstein			Weiach			Riniken		
Profond. moyenne (m)	Intervalle (m)	Géologie	Profond. moyenne (m)	Intervalle (m)	Géologie	Profond. moyenne (m)	Intervalle (m)	Géologie
162,9	123,2-202,5	Muschelkalk sup.	728,0	715,9-740,0	Stubensandstein Gansinger Dolomit Schliffsandstein	515,7	501,0-530,5	Gansinger Dolom Schliffsandstein
321,1	314,7-327,6	Cristallin	699,0	692,0-706,0	Lias alpha, beta	656,7	617,3-696,0	Muschelkalk sup
316,6	305,6-327,6	Crist. + Buntsst.	550,0	543,0-557,0	Dogger gamma, (Wedelsandstein)	806,6	793,0-820,2	Buntsandstein
315,0	315,0	Contact Buntsand- stein/cristallin	479,6	472,0-487,2	Dogger epsilon, zeta + Malm inf.	965,5	958,4-972,5	Permien
399,5	393,9-405,1	Cristallin	255,0	242,9-267,0	Massenkalk (Kimmeridgien)	993,5	977,0-1010,0	Permien
394,5	339,9-449,1	Cristallin	859,1	822,0-896,1	Muschelkalk sup.	1709,3	1618,0-1800,5	Permien
458,4	339,9-576,9	Cristallin	984,2	983,0-985,3	Buntsandstein partie sup.	1359,2	1355,4-1363,0	Permien (Perforation)
621,3	618,5-624,1	Cristallin	985,3	981,0-989,6	Buntsandstein	514,7	500,3-528,8	Gansinger Dolom Schliffsandstein (Perforation)
790,1	784,0-796,3	Cristallin	2267,0	2260,5-2273,5	Cristallin	625,8	613,0-638,5	Muschelkalk sup (Perforation)
618,4	608,0-628,8	Cristallin	2218,1	2211,6-2224,6	Cristallin	798,8	786,0-811,5	Buntsandstein (Perforation)
792,4	782,0-802,8	Cristallin	1408,3	1401,1-1415,7	Permien inf. (Perforation)	1361,5	1354,0-1369,0	Permien (Perforation)
1326,2	1321,0-1331,4	Cristallin	1116,5	1109,2-1123,8	Permien sup. (Perforation)			
649,0	640,8-657,2	Cristallin						
649,1	640,8-657,5	Cristallin						
312,5	305,2-319,0	Cristallin + Buntsandstein (Perforation)						

Nagra Cédra Cisra		NTB 87-10	
BÖTTSTEIN, WEIACH, RINIEN: INTERVALLES ÉCHANTILLONNÉS			
	VIS.:	DAT.: 15 - 7 - 87	ANNEXE 4.2a

Schafisheim			Kaisten			Leuggern		
Profond. moyenne (m)	Intervalle (m)	Géologie	Profond. moyenne (m)	Intervalle (m)	Géologie	Profond. moyenne (m)	Intervalle (m)	Géologie
558,0	553,0-563,0	Molasse d'eau douce inf.	113,5	97,0-129,9	Buntsandstein	74,9	53,5-96,4	Muschelkalk sup.
1260,4	1227,8-1293,0	Muschelkalk	284,3	276,0-292,5	Permien	217,9	208,2-227,5	Buntsandstein/cristallin
1488,2	1476,0-1500,4	Buntsandstein/cristallin	310,4	299,3-321,5	Cristallin	251,2	235,1-267,5	Cristallin
1571,1	1564,5-1577,7	Cristallin	482,6	475,5-489,8	Cristallin	444,2	440,4-448,1	Cristallin
1887,9	1883,5-1892,3	Cristallin	656,4	644,0-668,9	Cristallin	538,0	507,4-568,6	Cristallin
1980,4/1	1954,3-2006,5	Cristallin	819,4	816,0-822,9	Cristallin	705,7	702,0-709,5	Cristallin
1980,4/2	1954,3-2006,5	Cristallin	1031,0	1021,0-1040,9	Cristallin	923,0	916,2-929,7	Cristallin
1251,1	1240,7-1261,6	Muschelkalk sup. (Perforation)	1153,3	1140,8-1165,8	Cristallin	1192,5	1176,2-1208,8	Cristallin
			1271,9	1238,0-1305,8	Cristallin	1643,4	1637,4-1649,3	Cristallin
						847,0	834,5-859,5	Cristallin
						1203,2	1179,3-1227,2	Cristallin
						1665,5	1642,2-1688,9	Cristallin
						1433,4	1427,4-1439,4	Cristallin

Nagra Cédra Cisra

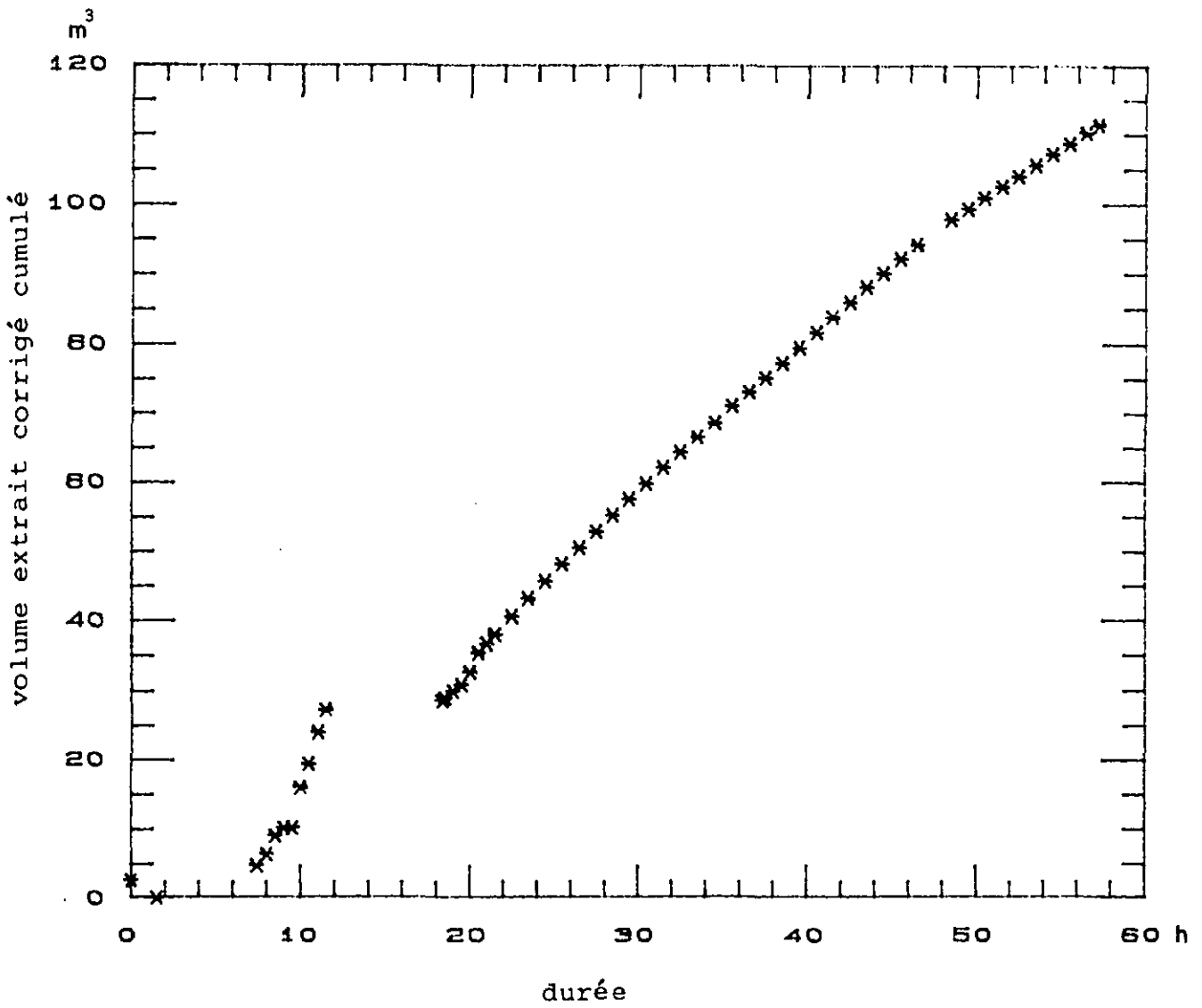
NTB 87-10

**SCHAFISHEIM, KAISTEN, LEUGGERN:
INTERVALLES ÉCHANTILLONNÉS**

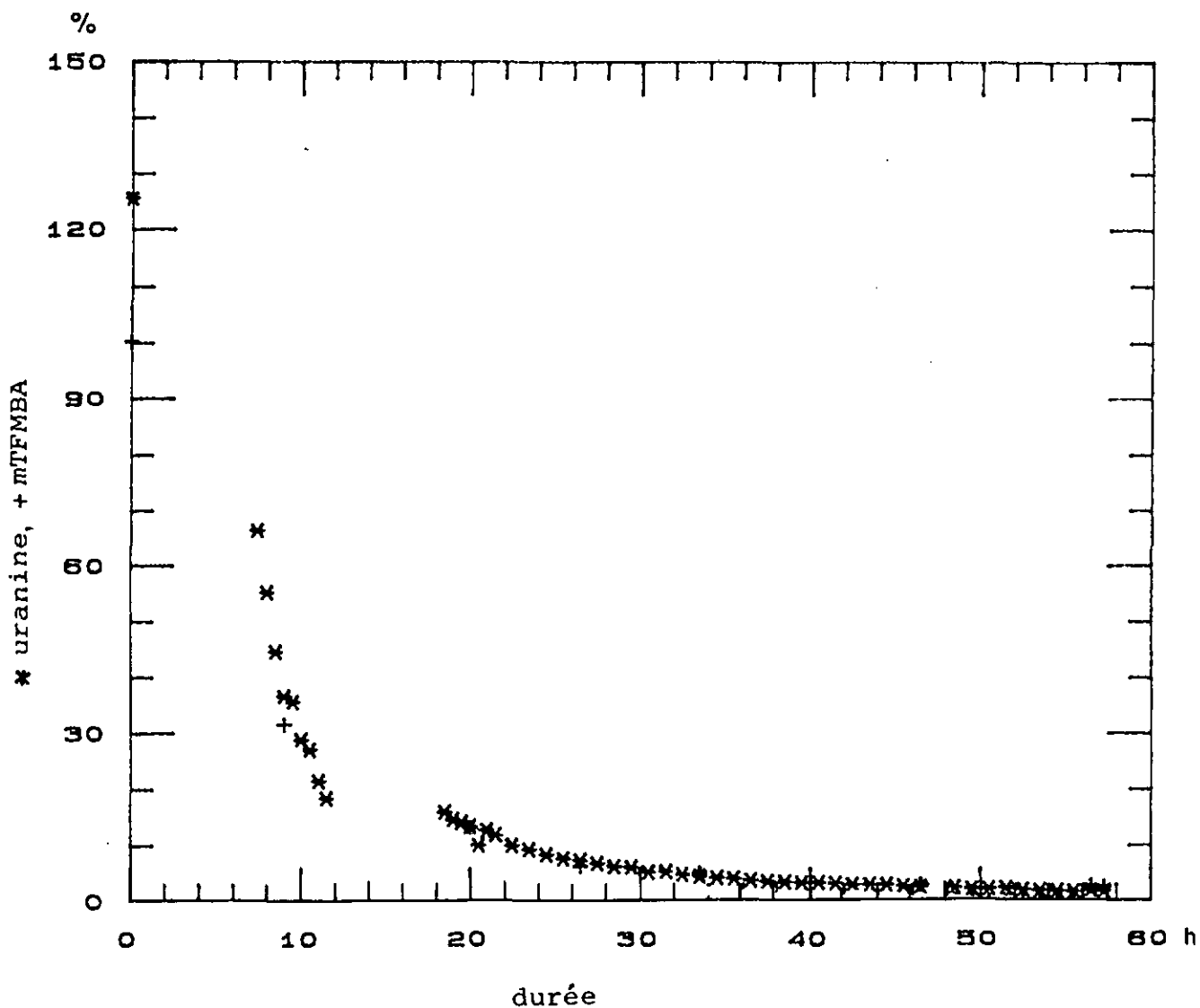
VIS.:

DAT.: 15-7-87

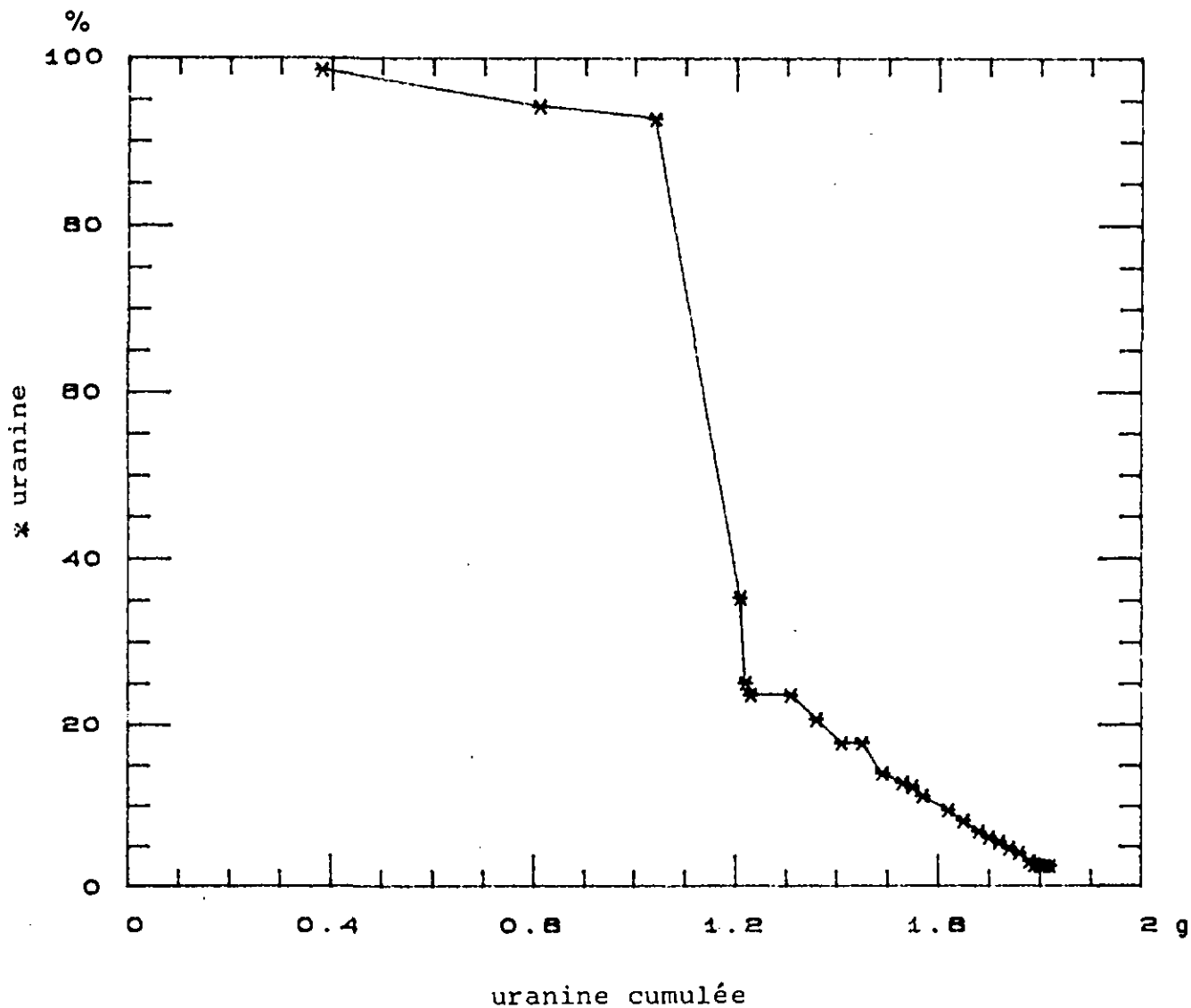
ANNEXE 4.2b



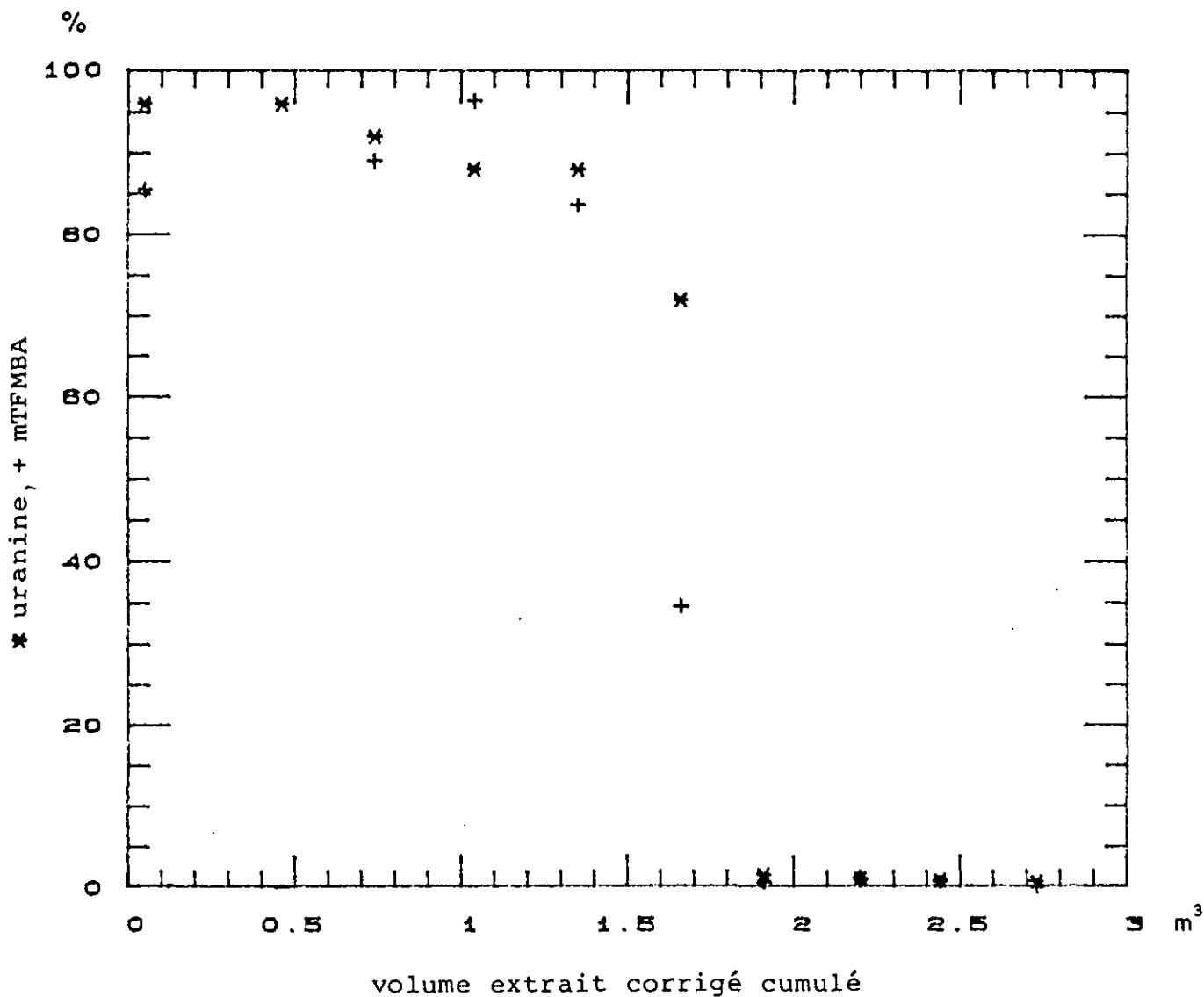
Nagra Cédra Cisca		NTB 87-10	
SCHAFISHEIM 1571 m: VOLUME EXTRAIT CORRIGÉ CUMULÉ = f (DURÉE)			
	VIS.:	DAT.: 15-7-87	ANNEXE 6.1



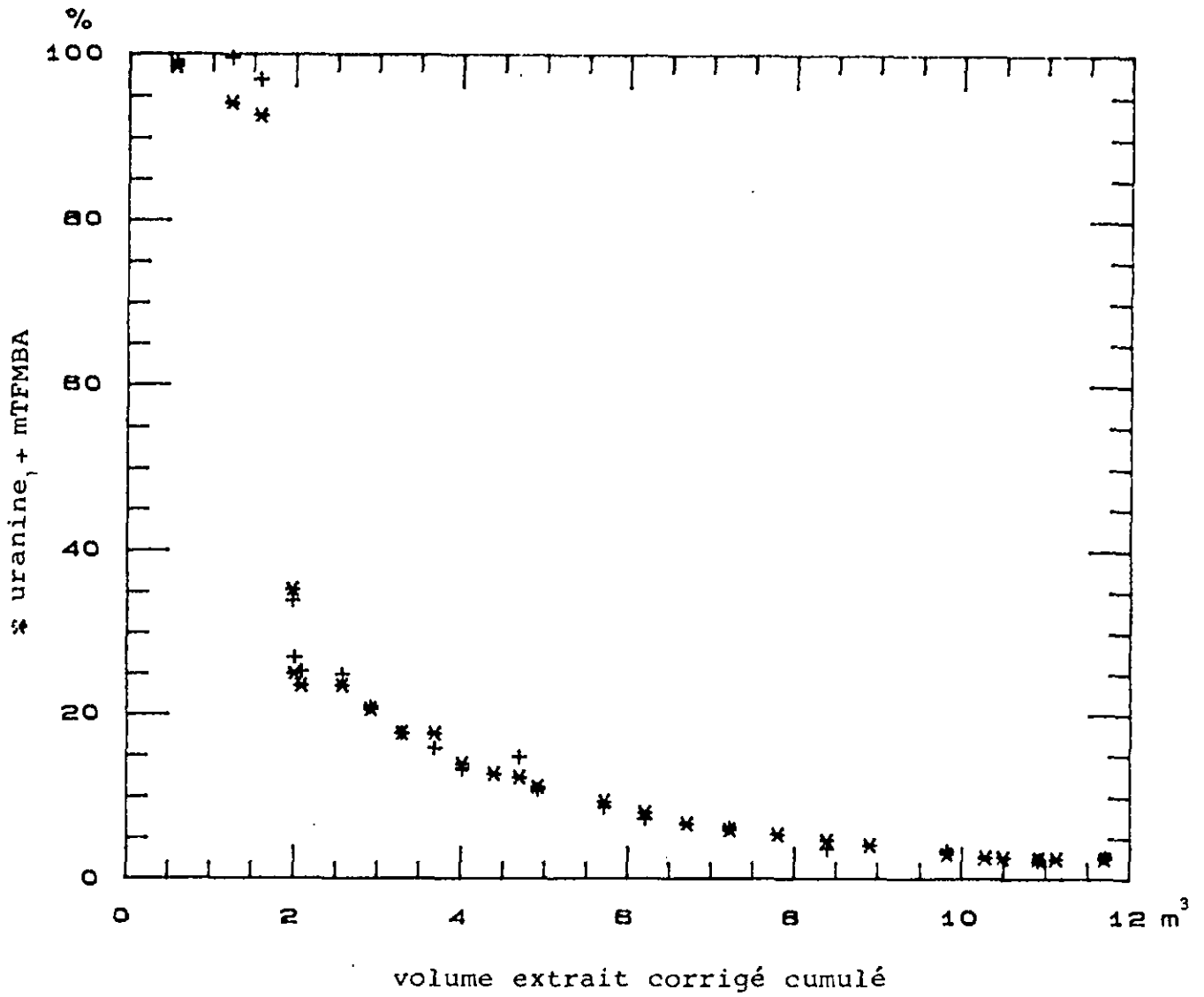
Nagra Cédra Cisca		NTB 87-10	
SCHAFISHEIM 1571 m: % URANINE, mTFMBA = f (DURÉE)			
VIS.:	DAT.: 15-7-87	ANNEXE	6.2



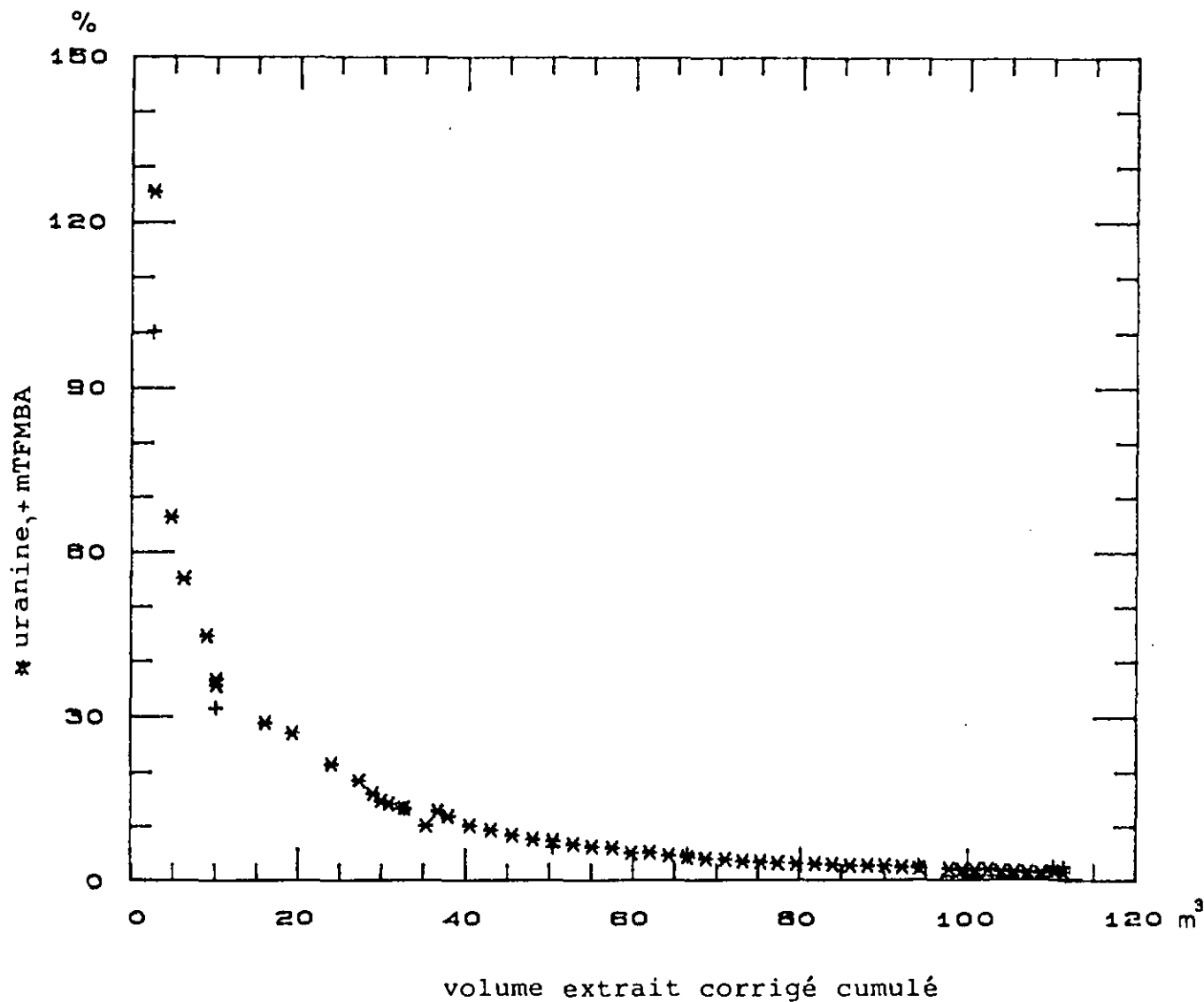
Nagra Cédra Cisca		NTB 87-10	
BÖTTSTEIN 621 m: % URANINE = f (CONCENTRATION URANINE CUMULÉ)			
	VIS.:	DAT.: 15-7-87	ANNEXE 6.3



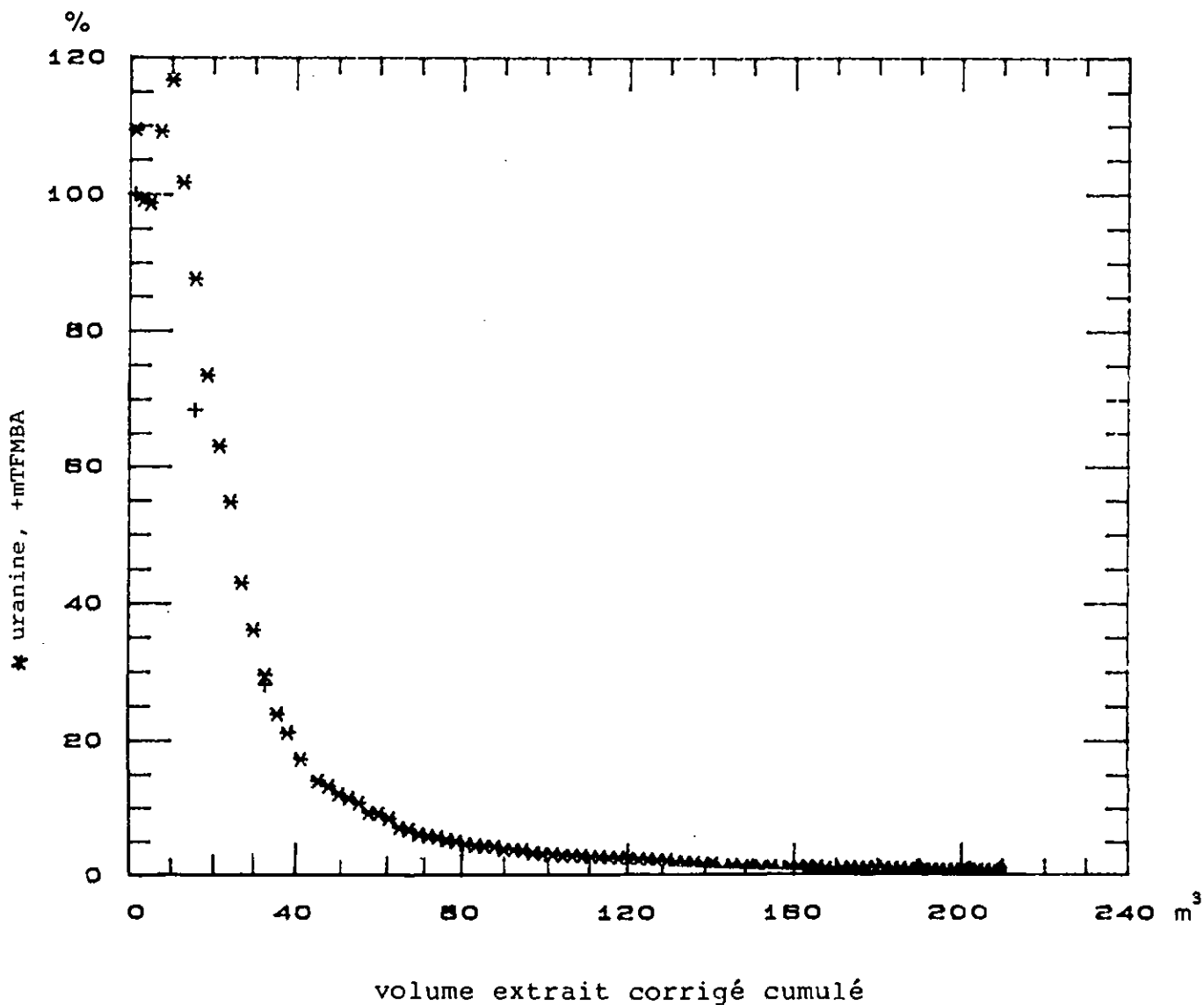
Nagra Cédra Cibra		NTB 87-10	
BÖTTSTEIN 400 m: % URANINE, mTFMBA = f (VOLUME EXTRAIT CORRIGÉ CUMULÉ)			
	VIS.:	DAT.: 15-7-87	ANNEXE 7.1



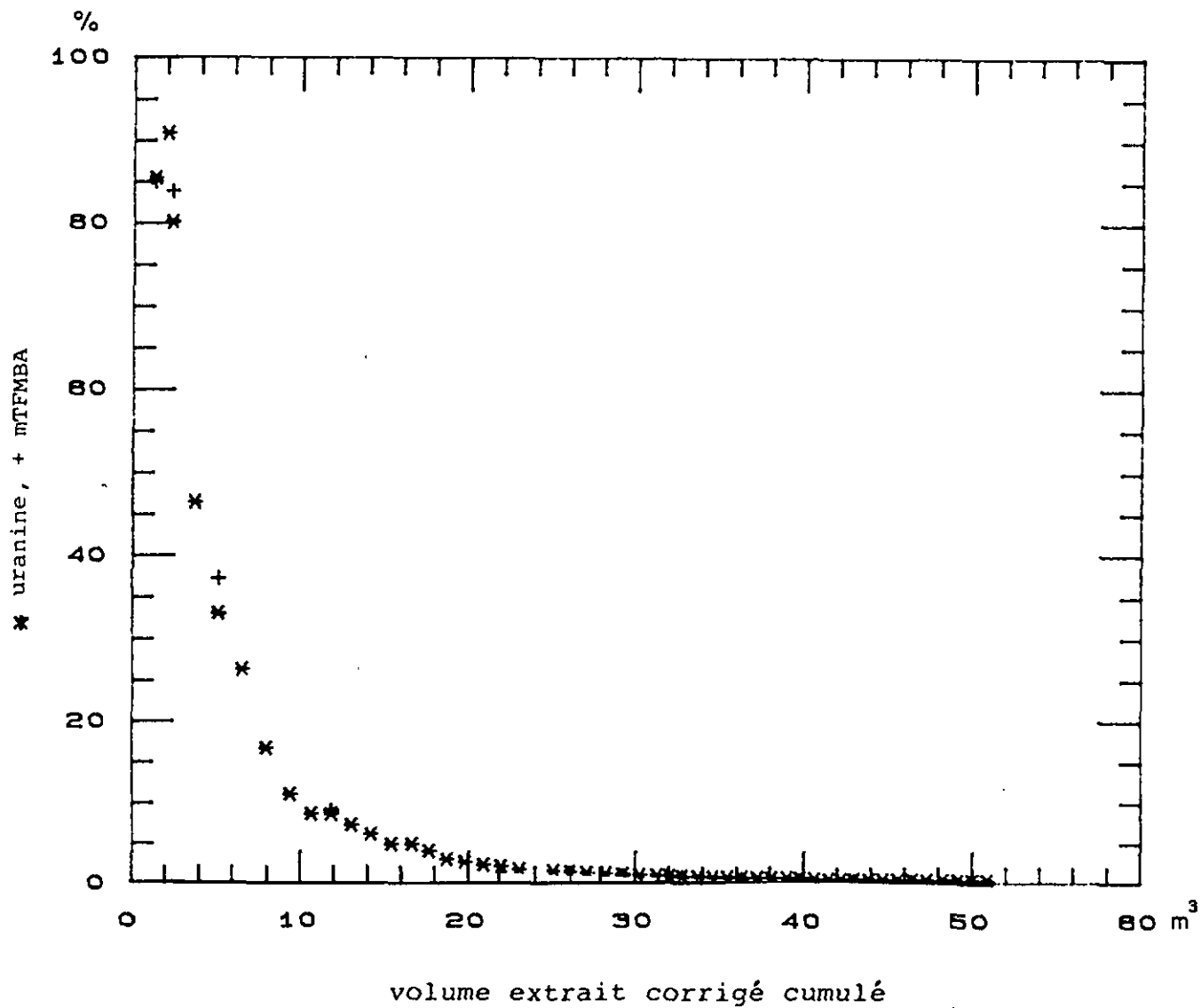
Nagra Cédra Cisra		NTB 87-10	
BÖTTSTEIN 621 m: % URANINE, mTFMBA = f (VOLUME EXTRAIT CORRIGÉ CUMULÉ)			
	VIS.:	DAT.: 15-7-87	ANNEXE 7.2



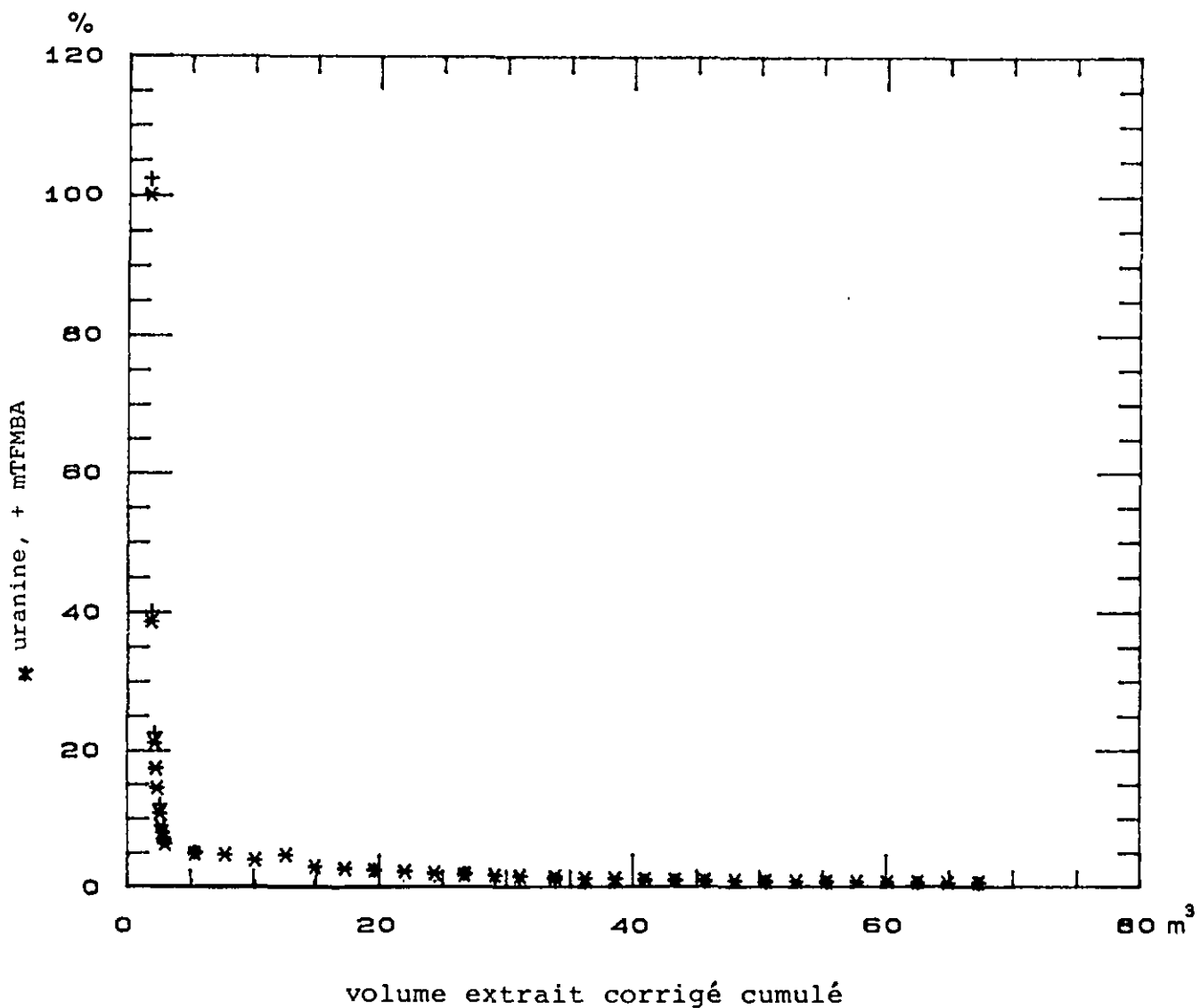
Nagra Cédra Cibra		NTB 87-10	
SCHAFISHEIM 1571 m: % URANINE, mTFMBA = f (VOLUME EXTRAIT CORRIGÉ CUMULÉ)			
	VIS.:	DAT.: 15-7-87	ANNEXE 7.3



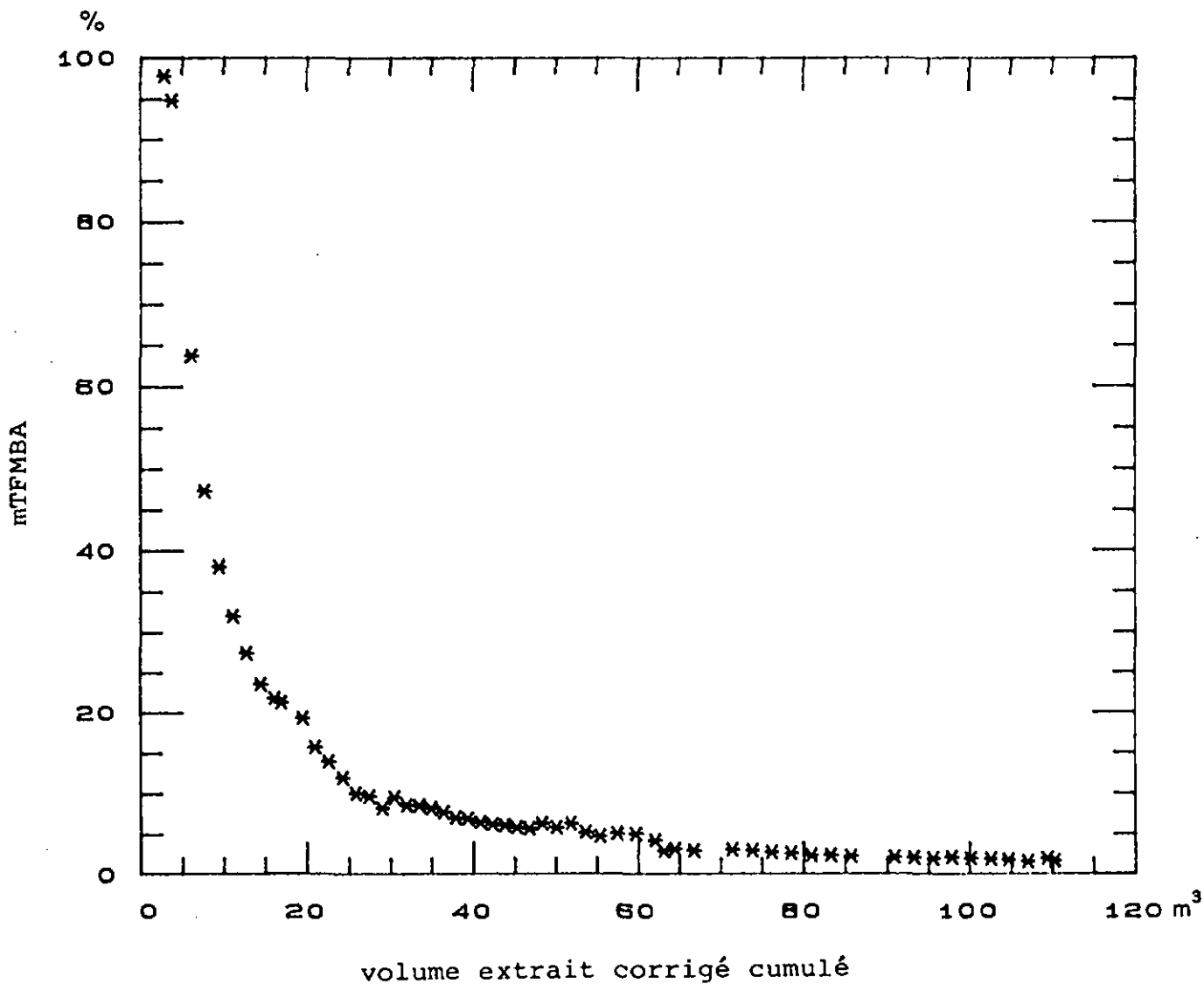
Nagra Cédra Cibra		NTB 87-10	
SCHAFISHEIM 1888 m: % URANINE, mTFMBA = f (VOLUME EXTRAIT CORRIGÉ CUMULÉ)			
VIS.:	DAT.: 15-7-87	ANNEXE	7.4



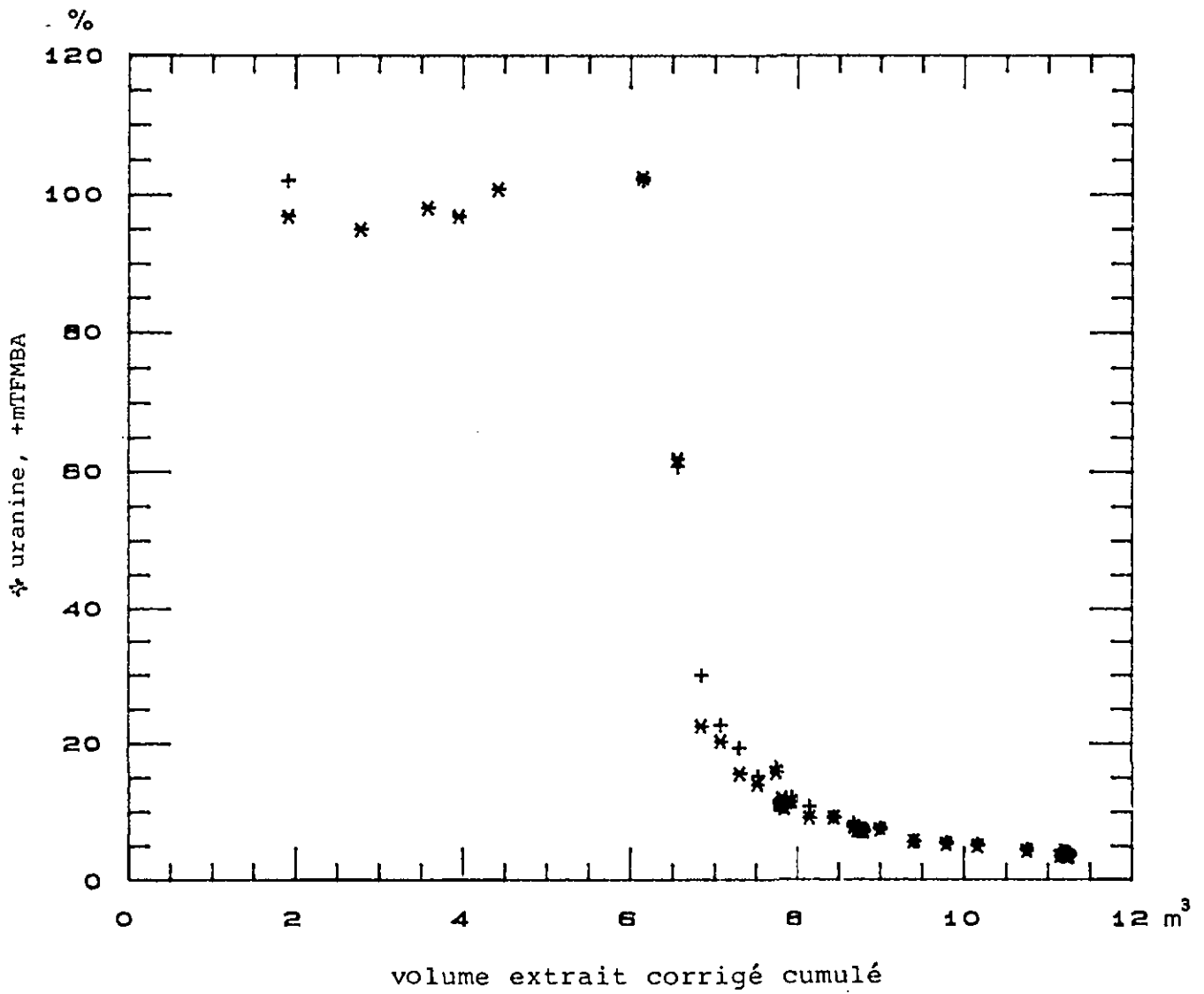
Nagra Cédra Cibra		NTB 87-10	
KAISTEN 114 m: % URANINE, mTFMBA = f (VOLUME EXTRAIT CORRIGÉ CUMULÉ)			
VIS.:	DAT.: 15-7-87	ANNEXE	7.5



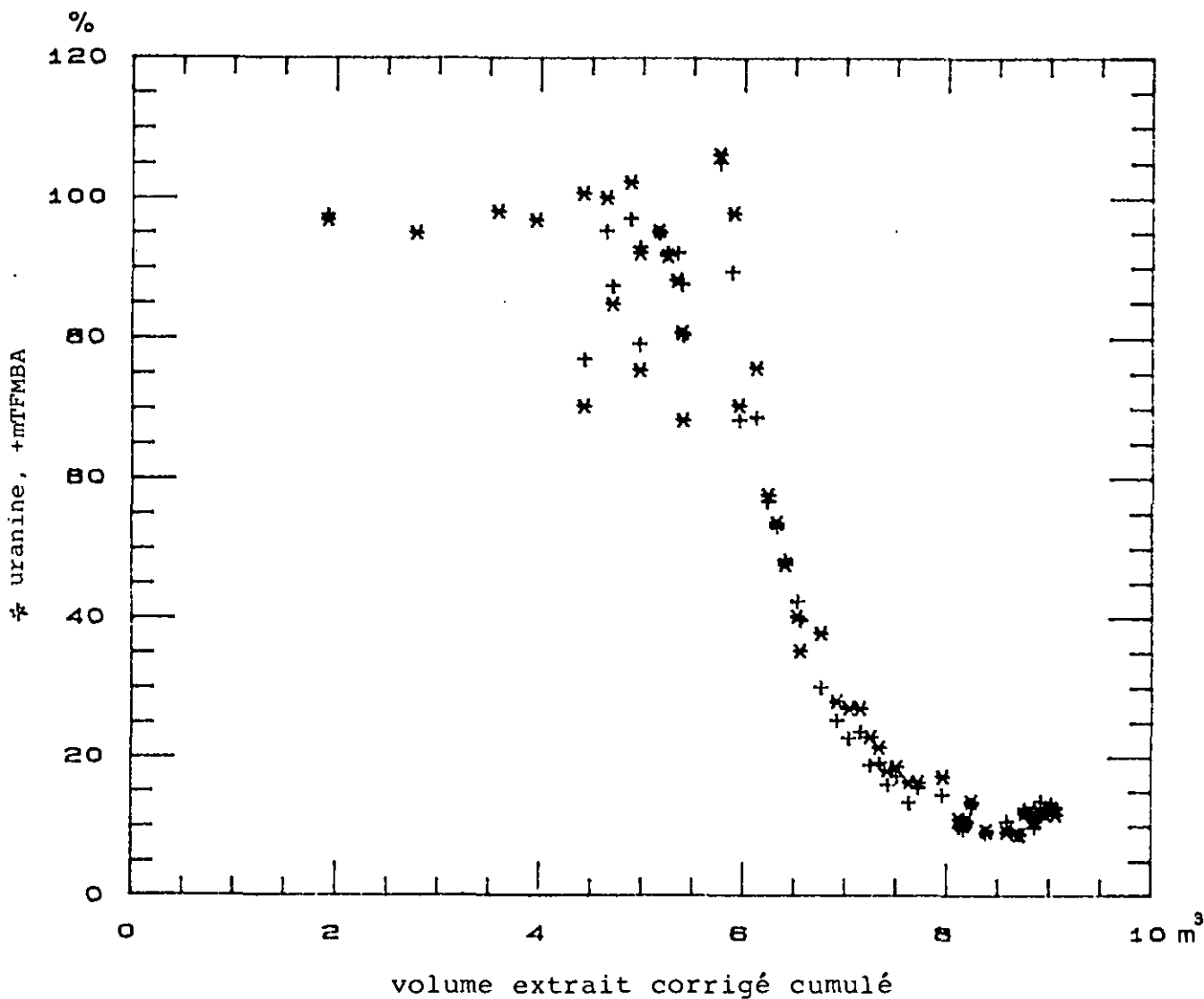
Nagra Cédra Cibra		NTB 87-10	
KAISTEN 483 m: % URANINE, mTFMBA = f (VOLUME EXTRAIT CORRIGÉ CUMULÉ)			
	VIS.:	DAT.: 15-7-87	ANNEXE 7.6



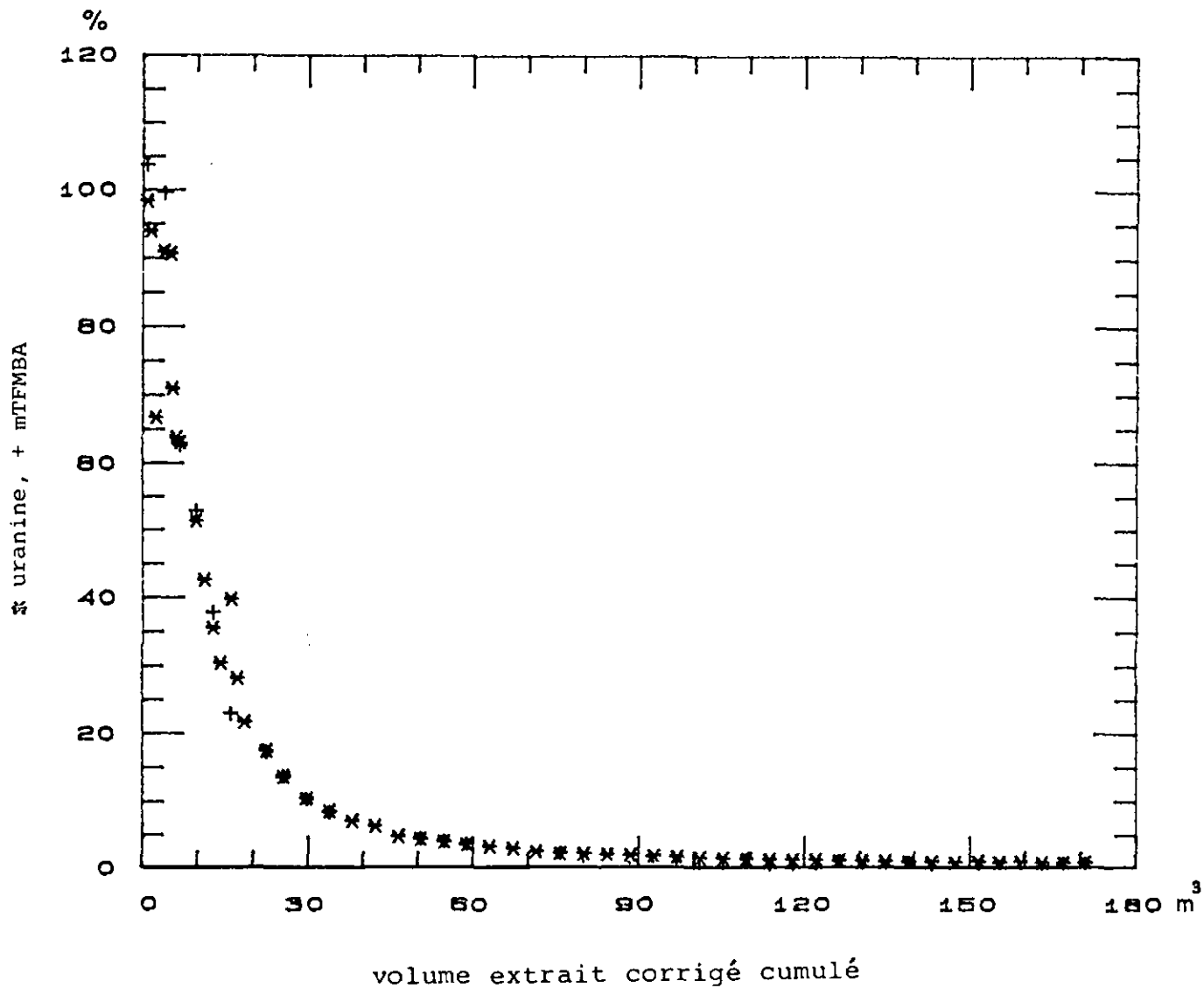
Nagra Cédra Cibra		NTB 87-10	
LEUGGERN 75 m: % mTFMBA (VOLUME EXTRAIT CORRIGÉ CUMULÉ)			
	VIS.:	DAT.: 15-7-87	ANNEXE 7.7



Nagra Cédra Cibra		NTB 87-10	
LEUGGERN 923 m: (ÉCHANTILLONNEURS): % mTFMBA = f (VOLUME EXTRAIT CORRIGÉ CUMULÉ)			
	VIS.:	DAT.: 15-7-87	ANNEXE 7.8a



Nagra Cédra Cibra		NTB 87-10	
LEUGGERN 923 m: (SWABBING): % mTFMBA = f (VOLUME EXTRAIT CORRIGÉ CUMULÉ)			
VIS.:	DAT.: 15-7-87	ANNEXE	7.8b



Nagra Cédra Cibra		NTB 87-10	
LEUGGERN 1643 m: % URANINE, mTFMBA = f (VOLUME EXTRAIT CORRIGÉ CUMULÉ)			
VIS.:	DAT.: 15-7-87	ANNEXE	7.9

A P P E N D I C E I

Forage de Böttstein

Données	AI-1:	périodes de forage
	AI-2:	périodes intermédiaires
	AI-3:	périodes d'écoulement
	AI-4a,b,c:	fluides de forage (hydrochimie, traceurs)
	AI-5:	tests hydrauliques

FORAGE: Boettstein

PERIODES DE FORAGE

No Test	Intervalle (m)	Période de forage	Durée de forage		Pertes		Ecoulement artésien		Type de fluide	Traceurs	
			totale (h)	av.circ. (h)	durée (h)	vol. (m ³)	durée (h)	vol. (m ³)		Uranine (ppm)	mTFMBA (ppm)
162,9/1	123,2-202,5	24.10.82(00:30)- 27.10(02:30)	74	64	64	n.d	0	0	bentonite	-	-
162,9/2	123,2-202,5	24.10.82(00:30)- 27.10(02:30)	74	64	64	n.d	0	0	bentonite	-	-
321,1	314,7-327,6	9.11.82(17:30)- 10.11(21:30)	28	13	13	n.d	0	0	bentonite salée	-	-
316,6	305,6-327,6	9.11.82(09:30)- 10.11(21:30)	36	17	17	n.d	0	0	bentonite salée	-	-
315,0	315,0	9.11.82(17:30)	0	0	0	0	0	0	bentonite salée	-	-
399,5	393,9-405,1	7.12.82(22:50)- 8.12(22:00)	23	14	14	n.d	9	n.d	e.déionisée	5,2-4,8	8
394,5	339,9-449,1	28.11.82(01:30) 16.12(13:00)	443,5	172	172	n.d	34	5,0	e.déion.-sout.	10-1,7	12-5,1
458,4	339,9-576,9	28.11.82(01:30) 3.1.83(14:00)	876	388	388	n.d	260	30	e.déion.-sout.	10-1,7	12-5,1
621,3	618,5-624,1	19.1.83(04:00- 19:30)	15,5	15,5	15,5	n.d	0	0	e.déion.-sout.	0,72-0,68	12,3-11,5
790,1	784,0-796,3	19.2.83(04:40)- 20.2(08:30)	27,8	24,2	24,2	n.d	3,6	1,1	e.souterraine	0,9-0,4	5,1-2,8
618,4	608,0-628,8	17.1.83(04:30)- 19.1(19:30) 23.1.83(02:00)- 24.1(12:30)	176	69	69	n.d	78	15	e.déion.-sout.	0,95-0,34	15,3-7,8
792,4	782,0-802,8	18.2.83(19:30)- 20.2(08:30) 21.2.83(19:00)- 22.2(12:20)	89	42	42	n.d	31	~8	e.souterraine	1-0,15	5,7-0,4
1326,2	1321,0-1331,4	21.5.83(07:30)- 22.5(05:50)	22	17	17	n.d	5,5	n.d	e.souterraine	1,0	n.d
649,0	640,8-657,2	26.1.83(20:30)- 29.1(11:25)	63	39	39	n.d	24	n.d	e.souterraine	0,1-0,05	2,1-1,1
649,1	649,8-657,5	26.1.83(20:30)- 29.1(12:05)	64	40	40	n.d	24	n.d	e.souterraine	0,1-0,05	2,1-1,1
312,5	305,2-319,8	9.11.82(14:15)- 10.11(02:20)	12	5	5	n.d	0	0	bentonite salée	-	-

Légende:

av.circ.: avec circulation des fluides de forage
 vol.: volume
 mTFMBA: acide métatetrafluorométhylbenzoïque
 Ecoulement: écoulement

e.: eau
 déion: déionisée
 eout.: souterraine
 n.d.: non déterminé

FORAGE: Boettstein

PERIODES INTERMEDIAIRES

No Test	Période intermédiaire	Durée intermédiaire		Pertes		Ecoulement artésien		Type de fluide	Traceurs	
		totale (h)	av. activité (h)	durée (h)	vol. (m ³)	durée (h)	vol. (m ³)		Uranine (ppm)	mTFMBA (ppm)
162,9/1	27.10.82(02:30) - 29.10(06:30)	52	5,5	5,5	n.d	6,3	79,0	e.réseau-sout.	-	-
162,9/2	27.10.82(02:30) - 30.10(12:20)	82	5,5	5,5	n.d	6,5	79,3	s.réseau-sout.	-	-
321,1	10.11.82(21:30) - 12.11(00:10)	27	1	1	n.d	0	0	bentonite salée	-	-
316,6	10.11.82(21:30) - 14.11.82(18:10)	92,7	1	1	n.d	13,1	2,1	bentonite salée	-	-
315,0	9.11.82(17:30) - 19.11(18:30)	241	34	34	n.d	55	n.d	bentonite salée	-	-
399,5	8.12.82(22:00) - 13.12(18:30)	98,5	36,5	36,5	n.d	58,5	>0,1	e.déion-sout.	4,2-2,5	7,4-5,5
394,5	16.12.82(13:00) - 8.1.83(00:15)	539,3	216	216	n.d	323	40	e.déion-sout.	8,2-0,4	19-1,9
458,4	3.1.83(14:00) - 11.1(06:50)	185	0	0	0	142	21	e.déion-sout.	9,3-0,1	19-0,6
621,3	19.1.83(19:30) - 20.1(03:30)	8	0	0	0	8	1,5	e.déion-sout.	<0,68	<11,5
790,1	20.2.83(08:30 - 20:00)	11,5	0	0	0	8,4	2,5	e.souterrains	<0,4	<2,8
618,4	24.1.83(12:30) - 5.8.83 5.8.83-6.8(19:00)	4872	1605	1605	n.d	3024	2540	e.sout.-déion	2,8-<0,001	25-<0,01
								e.déionisée	<20	-
792,4	22.2.83(12:20) - 5.8.83 5.8.83-11.0(14:05)	4080	1253	1253	n.d	2700	485-810	e.souterraine	2,8-<0,001	8-<0,01
								e.déion.-sout.	<20	-
1326,2	22.5.83(05:50) - 10.8.83 18.0.83-30.8(16.30)	2411	222	222	n.d	1470	n.d	e.sout.-déion.	1-<2	1-<25
								e.déionisée	<21	-
649,0	29.1.83(11:25) - 12.10.83 12.10.83-12.10(20:00)	6151	1502	1502	n.d	4428	~26	e.sout.-déion	21-<0,001	25-<0,01
								e.déionisée	>3,9	-
649,1	29.1.83(12:05) - 31.10.83 31.10.83-2.11(18:10)	6654	1501	1501	n.d	4940	61	e.sout.-déion.	21-<0,001	25-<0,01
								e.déion.-sout.	>5,8	>3,7
312,5	10.11.82(02:20) - 13.1.84 13.1.84-14.1(12:30)	10330	89	89	n.d	n.d	n.d	bentonite salée	-	-
								e.sout.cristal.	n.d	n.d

Légende:

sv.: avec
vol.: volume
Ecoulement: écoulement
mTFMBA: acide métatetrafluorométhylbenzoïque
n.d.: non déterminé

e.: eau
déion.: déionisée
sout.: souterraine
cristal.: cristalline

FORAGE: Boettstein

PERIODES D'ÉCOULEMENT

No Test	Période de test	Durée (h)	Essais hydrauliques			Nettoyage			Traceurs		Tritium (TU)
			Période	Durée (h)	Volume (m ³)	Période	Durée (h)	Volume (m ³)	Uranine (ppm)	mTFMBA (ppm)	
162,9/1	29.10.82(06:30-12.30)	6	29.10(07:06-07:18)	0,2	0,65	-	-	-	-	-	14,1+2,9
162,9/2	30.10.82(12:20)-2.11(13:30)	73	-	-	-	30.10(13:30)-1.11(13:30)	48	1367	-	-	<1
321,1	12.11.82(00:10)-13.11(08:00)	31,8	12.11(00:16-00:21) 12.11(00:58-01:57)	1,1	1,2	12.11(11:50)-13.11(08:00)	20,1	~2,9	-	-	6,2+2,3
316,6	14.11.82(18:10)-16.11(15:30)	45,3	14.11(18:10-18:50)	0,7	0,85	14.11(18:50)-16.11(12:00)	41,2	~30	-	-	<0,7
315,0	19.11.82(18:30-23.30)	5	19.11(20:00-23:30)	3,5	0,015	-	-	-	-	-	-
399,5	13.12.82(18:30)-15.12(10:30)	40	-	-	-	13.12(21:20)-14.12(15:00)	17,7	2,73	<0,015	<0,04	<1
394,5	8.1.83(00:15-08:50)	8,6	-	-	-	8.1(00:15-08:00)	7,7	1,16	0,14	<0,9	-
458,4	11.1.83(06:50-15:50)	9,0	-	-	-	11.1(09:40-15:20)	5,7	1,05	<0,007	<0,1	-
621,3	20.1.83(03:30)-22.1(18:50)	63,3	20.1(04:15-05:00) 20.1(05:50-06:30)	1,4	0,3	20.1(06:30)-22.1(16:40)	58,2	11,4	0,017	0,3	1+0,7
790,1	20.2.83(20:00)-21.1(09:35)	13,6	20.2(23:20)-21.2(04:25)	5,1	0,5	21.1(04:25-08:00)	3,6	0,8	0,3	1,73	-
618,4	6.8.83(19:00)-10.8(09:50)	86,9	-	-	-	6.8(19:00)-9.8(14:00) 9.8(14:00)-22:20)	65,9 8,3	84,7 8,6	0,02 0,01	-	1+0,7 -
792,4	11.8.83(14:05)-17.8(09:30)	139,4	12.8(07:20-15:30)	8,1	1,2	12.8(15:30)-16.8(17:30)	98	65,3	0,017	-	0,9+0,9
1326,2	30.8.83(16:30)-11.10(07:00)	998,5	30.8(18:45)-31.8(10:40)	15,9	0,25	31.8(10:40)-10.10(17:50)	967	4,25	8,5	-	57+5
649,0	12.10.83(20:00)-20.10(10:20)	182,3	12.10(20:30)-13.10(05:00) 13.10(07:50-12:30)	13,2	1,05	13.10(13:00)-20.10(04:30)	159,5	31,7	0,005-0,32	-	3,2+0,7
649,1	2.11.83(18:10)-5.11(13:10)	67,0	2.11(18:10)-3.11(00:40)	6,5	0,55	3.11(00:40)-5.11(06:00)	53,3	17,1	0,004-0,3	0,007-0,2	1,2-2,2+0,7
312,5	14.1.84(12:30)-21.1(06:00)	161,5	-	-	-	14.1(12:30)-20.1(19:45)	127,4	32,4	-	-	0,2+0,2

Légende:

mTFMBA: acide métatrifluorméthylbenzoïque

TU: unité tritium

FORAGE: Soettstein

FLUIDES DE FORAGE (HYDROCHIMIE, TRACEURS)/1

No Test	Période	Type de fluide	Conductibilité électrique (uS/cm)	pH	Demande d'acide		Traceurs	
					Alc. (mval/l)	p-Alc. (mval/l)	Uranine (ppm)	mTFMBA (ppm)
162,9/1	24.10.82(00:30) - 28.10(07:00)	bentonite	-	-	-	-	-	-
	28.10.82(07:00) - 28.10(16:00)	e.réseau	-	-	-	-	-	-
	28.10.82(16:00) - 29.10(06:30)	e.souterraine	~6800	~6,7	~6,0	~ -1,8	-	-
162,9/2	24.10.82(00:30) - 28.10(07:00)	bentonite	-	-	-	-	-	-
	28.10.82(07:00) - 28.10(16:00)	e.réseau	-	-	-	-	-	-
	28.10.82(16:00) - 30.10(12.20)	e.souterraine	~6800	~6,7	~6,0	~ -1,8	-	-
321,1	9.11.82(17:30) - 12.11(00:10)	bentonite salée	~100'000	10,3	-	-	-	-
316,6	9.11.82(09:30) - 14.11(18:10)	bentonite salée	~100'000	10,3	-	-	-	-
315,0	9.11.82(17.30) - 19.11(18.30)	bentonite salée	>100'000	10	-	-	-	-
399,5	7.12.82(22:50) - 8.12(22:00)	e.déion.-sout.	710-760	9	1,17	-	5,2-4,8	8
	8.12.82(22:00) - 13.12(18:30)	e.déion.-sout.	800-960	8,9-8,6	1,6-2,4	-	4,2-2,5	7,4-5,5
394,5	28.11.82(01:30) - 16.12(09:00)	e.déion.-sout.	300-1050	~9,5-8,5	0,7-2,4	-	~10-1,7	~12-5,1
	16.12.82(09:00-13:00)	e.déionisée	75-100	8,6-9,0	0,5	-	9,3-8,2	10,0-8,5
	16.12.82(13:00) - 27.12(08:00)	e.déion.-sout.	100-1100	~8,8	0,5-3,7	-	8,2-0,4	8,5-2,2
	27.12.82(08:00) - 3.1.83(12:00)	e.déion.-sout.	95-780	10-8,9	0,45-3,0	(0,2)	5,0-2,0	19,0-10,0
	3.1.83(12:00) - 8.1(00:15)	e.déion.-sout.	780->1350	8,9-~9	>3,0	-	2,0-0,4	10,0-1,9
458,4	28.11.82(01:30) - 16.12(09:00)	e.déion.-sout.	300-1050	~9,5-8,5	0,7-2,4	-	~10-1,7	~12-5,1
	16.12.82(09:00-13:00)	e.déionisée	75-100	8,6-9,0	0,5	-	9,3-8,2	10,0-8,5
	16.12.82(13:00) - 27.12(08:00)	e.déion.-sout.	100-1100	~8,8	0,5-3,7	-	8,2-0,4	8,5-2,2
	27.12.82(08:00) - 3.1.83(14:00)	e.déion.-sout.	95-780	10-8,9	0,45-3,0	(0,2)	5,0-2,0	19,0-10,0
	3.1.83(14:00) - 11.1(06:50)	e.déion.-sout.	780->1445	~8,8	>3,0	-	2,0-0,1	10,0-0,6
621,3	19.1.83(04:00-19:30)	e.déion.-sout.	840-870	9,0	~3,3	-	0,72-0,68	12,3-11,5
	19.1.83(19:30) - 20.1(03:30)	e.déion.-sout.	>870	~9,0	>3,3	-	<0,68	<11,5
790,1	19.2.83(04:40) - 20.2(08:30)	e.souterraine	1730	8,9	6,1	0,3	0,9-0,4	5,1-2,8
	20.2.83(08:30-20:00)	e.souterraine	~1730	~8,9	~6,1	~0,3	<0,4	<2,8

FORAGE: Soettstein

FLUIDES DE FORAGE (HYDROCHIMIE, TRACEURS)/2

No Test	Période	Type de fluide	Conductibilité électrique (uS/cm)	pH	Demande d'acide Alc. (mval/l)	d'acide p-Alc. (mval/l)	Traceurs Uranine (ppm)	MTFMA (ppm)
610,4	17.1.83(04:30) - 19.1(19:30)	e.déion.-sout.	700-870	8,9-9,0	2,7-3,3	-	0,95-0,68	15,3-11,5
	19.1.83(19:30) - 20.1(03:30)	e.déion.-sout.	>870	~9,0	>3,3	-	<0,68	<11,5
	20.1.83(03:30) - 22.1(18:50)	e.souterraine	>870-1660	<9-8,2	>3,3-6,0	-	<0,68-0,015	<11,5-0,27
	22.1.83(18:50) - 23.1(02:00)	e.souterraine	1660	~8,2	~6,0	-	~0,015	~0,27
	23.1.83(02:00) - 24.1(12:30)	e.souterraine	1000-1180	8,8-8,9	4,2-4,4	0,09-0,12	0,57-0,34	8,8-7,8
	24.1.83(12:30) - 2.2.83	e.souterraine	1200-~1620	8,9-8,7	4,4-5,8	-	0,34-0,03	7,8-0,6
	2.2.83 - 5.6.83	e.déion.-sout.	100-~1700	~8,7	0,5-~6,1	~0,2	2,8-0,01	19-0,2
	5.6.83 - 5.8.83	e.déion.-sout.	65-~1700	9,5-~8,0	0,8-~6,0	0,17-n.d	1,96-<0,001	25,2-<0,01
5.8.83 - 6.8(19:00)	e.déionisée	>50	-	-	-	<20	-	
792,4	18.2.83(19:30) - 20.2(08:30)	e.souterraine	1730	8,9	6,1	0,4-0,3	1,04-0,40	5,7-2,8
	20.2.83(08:30-20:00)	e.souterraine	~1730	~8,9	~6,1	~0,3	~0,4	~2,8
	20.2.83(20:00) - 21.2(09:40)	e.souterraine	1730-1780	~8,8	~6,1	~0,3	<0,4-0,3	<2,8-1,73
	21.2.83(09:40-19:00)	e.souterraine	~1730	~8,7	~6,1	~0,2	0,3-0,24	1,73-1,5
	21.2.83(19:00) - 22.2(12:20)	e.souterraine	~1730	~8,7	~6,1	~0,2	0,24-0,15	1,5-1,0
	22.2.83(12:20) - 5.6.83	e.souterraine	~1700	~8,7	~6,1	~0,2	2,8-0,01	0->,2
	5.6.83 - 5.8.83	e.déion.-sout.	65-~1700	9,5-~8,0	0,8-~6,0	0,17-n.d	1,96-<0,001	25,2-<0,01
	5.8.83 - 11.8(14:05)	e.déion.-sout.	>50	-	-	-	<20	-
1326,2	21.5.83(07:30) - 22.5(05:50)	e.souterraine	1650	8,7	6,0	0,3	1,0	-
	22.5.83(05:50) - 5.6.83	e.souterraine	~1700	~8,7	~6,1	~0,2	~1,0	~1,0
	5.6.83 - 18.8.83	e.déionisée	>65	9,5-n.d	0,8-n.d	0,2-n.d	<1,96	<25,2
	18.8.83 - 30.8(16:30)	e.déionisée	>670	-	-	-	<21	-
649,0	26.1.83(20:30) - 29.1(11:30)	e.souterraine	1470-1600	~8,7	5,5-5,7	-	0,1-0,05	2,1-1,1
	29.1.83(11:30) - 2.2.83	e.souterraine	1600-1620	~8,7	~5,8	-	0,05-0,02	1,1-0,6
	2.2.83 - 5.6.83	e.déion.-sout.	100-~1700	~8,7	0,5-~6,1	~0,2	2,8-0,01	19-0,2
	5.6.83 - 5.8.83	e.déion.-sout.	65-~1700	9,5-~8,0	0,8-~6,0	0,17-n.d	1,96-<0,001	25,2-<0,01
	5.8.83 - 18.8.83	e.déion.-sout.	>50	-	-	-	<20	-
	18.8.83 - 12.10.83	e.déion.-sout.	670-~1700	n.d-~8,7	n.d-~6,0	-	~21-n.d	-
12.10.83	e.déionisée	~700	~8,4	~2,2	~0,1	n.d-~3,9	-	

FORAGE: Soettstein

FLUIDES DE FORAGE (HYDROCHIMIE, TRACEURS)/3

No Test	Période	Type de fluide	Conductibilité électrique (uS/cm)	pH	Demande d'acide		Traceurs	
					Alc. (mval/l)	p-Alc. (mval/l)	Uranine (ppm)	mTFMBA (ppm)
649,1	26.1.83(20:30) - 29.1(12:05)	e.souterraine	1470-1600	~8,7	5,5-5,7	-	0,1-0,05	2,1-1,1
	29.1.83(12:05) - 2.2.83	e.souterraine	1600-1620	~8,7	~5,8	-	0,05-0,02	1,1-0,6
	2.2.83 - 5.6.83	e.déion.-sout.	100-~1700	~8,7	0,5-~6,1	~0,2	2,8-0,01	19-0,2
	5.6.83 - 5.8.83	e.déion.-sout.	65-~1700	9,5-~8,0	0,8-~6,0	0,17-n.d	1,96-~0,001	25,2-~0,01
	5.8.83 - 18.8.83	e.déion.-sout.	750	-	-	-	< 20	-
	18.8.83 - 12.10.83	e.déion.-sout.	670-~1700	n.d-~8,7	n.d-~6,0	-	~21-n.d	-
	12.10.83	e.déionisée	~700	~8,4	~2,2	~0,1	n.d-~3,9	-
	12.10.83(20:00) - 20.10(10:20)	e.souterraine	~700-~1700	8,4-8,0	2,2-~6,0	0,1- (~0,2)	3,9-0,005	-
	20.10.83(10:20) - 31.10.83	e.souterraine	~1700	~8,7	~6,0	~0,2	-	-
	31.10.83 - 2.11(18:10)	e.déion.-sout.	n.d	-	-	-	n.d-~5,8	n.d-~3,7
312,5	9.11.82(14:15) - 10.11(02:20)	bentonite salée	>100'000	-	-	-	-	-
	10.11.82(02:20) - 12.11(00:10)	bentonite salée	>100'000	-	-	-	-	-
	12.11.82(00:10) - 13.11(08:00)	bent.selés- e.sout.	>100'000 - 20'000	n.d-8,5	n.d-7,3	n.d-0,4	-	-
	13.11.82(08:00) - 14.11(18:10)	bentonite salée	>100'000	-	-	-	-	-
	14.11.82(18:10) - 16.11(15:30)	bent.salée- e.sout.	>100'000 - 3200	n.d-8,4	n.d-6,3	n.d-1,0	-	-
	16.11.82(15:30) - 23.11.82	bentonite salée	>100'000	-	-	-	-	-
	23.11.82 - 13.1.84(07:00)	ciment	-	-	-	-	-	-
	13.1.84(07:00) - 14.1(12:30)	e.sout.cristallin	~1600	~8,7	~6,1	~0,2	-	-

Légende:

Alc: alcalinité

p-Alc.: p-alcalinité

mTFMBA: acide mêtatrilfluorométhylbenzoïque

n.d.: non déterminé

e.: eau

déion: déionisée

sout.: souterraine

bent.: bentonite

FORAGE: Soettstein

TESTS HYDRAULIQUES

No Test	Intervalle (m)	Volume Intervalle (m ³)	Volume Tubage (m ³)	Volume Tube (m ³)	Transmissivité (m ² /s)	Perméabilité (m/s)
162,9/1	123,2-202,5	6,1	0,2	0,39	2,4E-04	3E-06
162,9/2	123,2-202,5	6,1	8,8	-	2,4E-04	3E-06
321,1	314,7-327,6	0,54	-	2,0	3,5E-05	3E-06
316,6	305,6-327,6	0,90	-	2,0	3,5E-05	2,9E-06
315,0	315,0	0	-	0,015	n.d	n.d
399,5	393,9-405,1	0,22	-	1,15	1,3E-06	1,1E-07
394,5	339,9-449,1	3,5	11,8	-	n.d	n.d
458,4	339,9-576,9	7,7	0,1	~1,0	~1E-06	~1E-08
621,3	618,5-624,1	0,11	-	1,84	1,5E-06	2,7E-07
790,1	784,0-796,3	0,25	-	2,34	4,9E-05	4E-06
618,4	608,0-628,8	0,60	-	4,74	1,2E-05	6E-07
792,4	782,0-802,8	0,50	-	6,18	1,9E-05	9E-07
1326,2	1321,0-1331,4	0,22	-	3,95	1,3E-09	1,2E-10
649,0	640,8-657,2	0,38	-	3,54	1E-06	6E-08
649,1	640,8-657,3	0,38	-	3,53	1E-06	6E-08
312,5	305,2-319,8	0,95	-	0,98	n.d	n.d

Légende:

n.d.: non déterminé

A P P E N D I C E II

Forage de Weiach

Données	AII-1:	périodes de forage
	AII-2:	périodes intermédiaires
	AII-3:	périodes d'écoulement
	AII-4a,b:	fluides de forage (hydrochimie, traceurs)
	AII-5:	tests hydrauliques

FORAGE: Weiach

PERIODES DE FORAGE

No Test	Intervalle (m)	Période de forage	Durée de forage		Pertes		Ecoulement artésien		Type de fluide	Traceurs	
			totale (h)	av.circ. (h)	durée (h)	vol. (m ³)	durée (h)	vol. (m ³)		Uranine (ppm)	mTFMBA (ppm)
728,0	715,9-740,0	19.2.83(21:00) - 21.2(12:00)	39	27,2	27,2	n.d	0	0	bentonite	-	-
699,0	692,0-706,0	18.2.83(01:00-24:00)	23	16,6	16,6	n.d	0	0	bentonite	-	-
550,0	543,0-557,0	8.2.83(23:00) - 9.2(17:00)	18	12,3	12,3	n.d	0	0	bentonite	-	-
479,6	472,0-487,2	4.2.83(13:00) - 5.2(11:00)	22	15,7	15,7	n.d	0	0	bentonite	-	-
255,0	242,9-267,0	21.1.83(23:30) - 24.1(06:00)	54,5	41,8	41,8	n.d	0	0	bentonite	-	-
859,1	822,0-896,1	20.3.83(13:30) - 25.3(17:30)	124	88	8,5	20	0	0	bentonite	-	-
984,2	983,0-985,3	23.4.83(06:10-08:30)	148,3	25,3	25,3	n.d	0	0	bentonite salée	-	-
		29.4.83(10:00-10:30)					<26,5	<1,6	e.déionisée	1,09	-
985,3	981,0-989,6	19.4.83(16:40)-28.4.83 - 28.4.83 - 2.5(11:50)	307,2	30,7	30,7	n.d	0	0	bentonite salée	-	-
							~60	~22	e.déionisée	1,1-1,8	-
2267,0	2260,5-2273,5	27.10.83(06:10)-28:10(22:30)	40,3	24,3	24,3	n.d	16	n.d	e.déionisée	1,6-1,5	12,9-12,5
2218,1	2211,6-2224,6	16.10.83(18:00)-18:10(14:30)	44,5	32	32	n.d	12,5	n.d	e.déionisée	1,7-1,5	13,9-13,5
1408,3	1401,1-1415,8	3.6.83(07:10-23:20)	16,2	11,6	11,6	n.d	4,5	n.d	bentonite	-	-
1116,5	1109,2-1123,8	13.5.83(09:50-23:30)	13,7	8,0	8,0	n.d	5,7	n.d	bentonite	-	-

Légende:

av.circ.: avec circulation des fluides de forage
 vol.: volume
 mTFMBA: acide métatrifluorméthylbenzoïque

e.: eau
 n.d.: non déterminé
 Ecoul.: écoulement

FORAGE: Weiach

PERIODES INTERMEDIAIRES

No Test	Période intermédiaire	Durée intermédiaire		Pertes		Ecoulement artésien		Type de fluide	Traceurs	
		totale (h)	av. activité (h)	durée (h)	vol. (m ³)	durée (h)	vol. (m ³)		Uranine (ppm)	MTFBA (ppm)
728,0	21.2.83(12:00) - 1.3(13:05)	193,1	85,2	85,2	n.d	0	0	bentonite	-	-
699,0	18.2.83(24:00) - 2.3(05:50)	269,7	134,9	134,9	n.d	0	0	bentonite	-	-
550,0	9.2.83(17:00) - 2.3(19:10)	504,2	296,5	296,5	n.d	0	0	bentonite	-	-
479,6	5.2.83(11:00) - 3.3(07:30)	620,5	375,8	375,8	n.d	0	0	bentonite	-	-
255,0	24.1.83(06:00) - 3.3(20:30)	926,5	298,3	298,3	n.d	0	0	bentonite	-	-
859,1	25.3.83(17:30) - 1.4(11:50)	162,3	14	9	14	17	21,4	bentonite	-	-
984,2	29.4.83(10:30) - 30.4(07:20)	20,8	1,5	1,5	n.d	19,3	3,5	e.déionisée	<1,09	-
985,3	2.5.83(11:50) - 5.5.83	1735	1112	~41	n.d	0	0	e.déion.-sout.	1,1-1,8	-
	5.5.83 - 14.7.(18:30)			0,5	2,1	~50	n.d	bentonite	~0,01-0,1	~2
2267,0	28.10.83(22:30) - 23.2.84	3525	144	144	n.d	3303	n.d	e.déionisée	1,8-<1,2	13,5-<14,1
	23.2.84 - 23.3(19:20)							e.déion.-sout.	<3,8	<16,2
2218,1	18.10.83(14:30) - 23.2.84	4201	259	259	n.d	3863	n.d	e.déionisée	1,8-<1,2	13-<14,1
	23.2.84 - 11.4(15:00)							e.déion.-sout.	<3,8	<16,2
1408,3	3.6.83(23:20) - 30.8.83	8103	1114	1114	n.d	2631	n.d	bentonite	0,01-0,2	~2-3
	2.5.84 - 6.5(14:30)							e.déionisée	<0,6	<14,0
1116,5	13.5.83(23:30) - 30.8.83	9741	1460	1460	n.d	~30	~5,3	bentonite	0,01-0,2	~2-3
	18.6.84 - 22.6(20:10)						~1	~1,0	e.déionisée	<3,16

Légende:

av.: avec
 vol.: volume
 Ecouil: écoulement
 MTFMBA: acide métatriméthylbenzoïque

e.: eau
 déion.: déionisée
 sout.: souterraine
 n.d. non déterminé

FORAGE: Weiach

PERIODES D'ECOLEMENT

No Test	Période de test	Durée (h)	Essais hydrauliques			Nettoyage			Traceurs		Tritium (TU)
			Période	Durée (h)	Volume (m ³)	Période	Durée (h)	Volume (m ³)	Uranine (ppm)	mTFMBA (ppm)	
728,0	1.3.83(13:05-19:25)	6,3	1.3(13:18-13:47) 1.3(14:58-15:36)	1,1	5,15	-	-	-	-	-	-
699,0	2.3.83(05:50-12:50)	7,0	2.3(06:03-06:30) 2.3(07:53-08:27)	1,0	4,96	-	-	-	-	-	-
550,0	2.3.83(19:10-3.3(01:30)	6,3	2.3(19:23-?)	<6,1	3,75	-	-	-	-	-	-
479,6	3.3.83(07:30-14:35)	7,1	3.3(08:28-08:51) 3.3(10:02-10:30)	1,0	3,2	-	-	-	-	-	-
255,0	3.3.83(20:30)-6.3(12:00)	63,5	3.3(20:54-23:31)	2,6	0,9	3.3(23:45)-5.3(14:00) 6.3(12:00)	32,8 38,4	53,6 55,7	-	-	<3,8 <5,7
859,1	1.4.83(11:50)-7.4(11:00)	143,2	-	-	-	1.4(20:00)-3.4(18:00)	46	975	-	-	-
984,2	30.4.83(07:20)-1.5(22:40)	39,3	-	-	-	30.4(12:30-13:00) 30.4(19:00)-1.5(13:00)	18,5	13,3	0,005	-	23,3+2,5
985,3	14.7.83(18:30)-19.7(20:00)	121,5	-	-	-	14.7(19:05)-19.7(12:00)	112,9	93,6	0,0002	0,009	<0,8
2267,0	23.3.84(19:20)-7.4(09:00)	350	-	-	-	24.3(15:10)-2.4(12:25)	213,2	7,5	0,31	1,73	11,0+1,1
2218,1	11.4.84(15:00)-28.4(18:15)	411	11.4(17:17-18:20) 12.4(12:10)-13.4(19:00)	21,8	0,12	13.4(09:20)-28.4(16:30)	367,2	7,7	<0,07	<0,28	2,7+0,7
1408,3	6.5.84(14:30)-16.6(11:40)	981	-	-	-	6.5(15:50)-16.6(10:35)	980	11	0,011	0,47	6,4+0,9
1116,5	22.6.84(20:10)-28.6(19:15)	143	-	-	-	22.6(21:15)-28.6(18:30)	141,2	35,8	0,02	0,085	2,2+0,6

Légende:

mTFMBA: acide métrifluorméthylbenzoïque

TU: unité tritium ,

FORAGE: Weisch

FLUIDES UE FORAGE (HYDROCHIMIE, TRACEURS)/1

No Test	Période	Type de fluide	Conductibilité électrique (uS/cm)	pH	Demande d'acide		Traceurs	
					Alc. (mval/l)	p-Alc. (mval/l)	Ursnins (ppm)	mTFMBA (ppm)
728,0	19.2.83(21:00) - 1.3(13:05)	bentonite	~28'000	8,5	n.d	n.d	-	-
699,0	18.2.83(01:00) - 2.3(05:50)	bentonite	~28'000	8,5	n.d	n.d	-	-
550,0	8.2.83(23:00) - 2.3(19:10)	bentonite	~28'000	8,5	n.d	n.d	-	-
479,6	4.2.83(13:00) - 3.3(07:30)	bentonite	~28'000	8,5	n.d	n.d	-	-
255,0	21.1.83(23:30) - 24.1(06:00)	bentonite	~28'000	8,5	n.d	n.d	-	-
059,1	20.3.83(13:30) - 25.3(17:30)	bentonite	~14'000	~11	n.d	n.d	-	-
	25.3.83(17:30) - 30.3(00:30)	bentonite						
	30.3.83(00:30-01:30)	e.réseau	640	7,2	n.d	n.d	-	-
	30.3.83(01:30) - 1.4(00:30)	e.réseau-bent.- e.souterraine	n.d	n.d	n.d	n.d	-	-
	1.4.83(00:30-11:50)	e.réseau	640	7,2	n.d	n.d	-	-
984,2	23.4.83(06:10-08:30)	bentonite salée	~114'000	~11	n.d	n.d	-	-
	28.4.83(02:00-16:30)	e.réseau- bent.salés	700-10'000	n.d	n.d	n.d	-	-
	28.4.83(16:30) - 29.4(10:00)	e.déion.- bent.salée	80-7'200	n.d	n.d	n.d	-	-
	29.4.83(10:00-10:30)	e.déionisée	170	~9	n.d	n.d	1,09	-
	29.4.83(10:30) - 30.4.(07:20)	e.déion.-sout.	140-5000	9,4-8,3	n.d	n.d	< 1,09	-
905,3	19.4.83(16:40) - 23.4(08:30)	bentonite salée	~114'000	~11	n.d	n.d	-	-
	20.4.83(02:00-16:30)	e.réseau- bent.salée	700-10'000	n.d	n.d	n.d	-	-
	28.4.83(16:30) - 29.4(10:00)	e.déion.- bent.salée	80-7200	n.d	n.d	n.d	-	-
	29.4.83(10:00-10:30)	e.déionisée	170	~9	n.d	n.d	1,09	-
	29.4.83(10:30) - 30.4.(07:20)	e.déion.-sout.	140-5000	9,4-8,3	n.d	n.d	< 1,09	-
	30.4.83(07:20) - 1.5(22:40)	e.souterraine	~15'000	7,8	n.d	n.d	0,005-0,07	-
	1.5.83(22:40) - 2.5(05:00)	e.sout.-déion.	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	-
	2.5.83(05:00-11:50)	e.déionisée	420-680	~8,9	n.d	n.d	1,7-1,8	-
	2.5.83(11:50) - 5.5.83	e.déionisée	1000-6000	8,9-8,2	n.d	n.d	~1,3	-
	5.5.83 - 7.5.83	e.déion.- bent.salée	15'000-120'000	n.d	n.d	n.d	-	-
7.5.83 - 19.6.83	bentonite	9800-22'000	~9	n.d	n.d	-	-	
20.6.83 - 14.7.83(18:30)	bentonite	22'000-28'000	~9	n.d	n.d	0,01-0,1	~2	

ORAGE: Weiach

FLUIDES DE FORAGE (HYDROCHIMIE, TRACEURS)/2

No Test	Période	Type de fluide	Conductibilité électrique (uS/cm)	pH	Demande d'Acide Alc. (mval/l)	D'acide p-Alc. (mval/l)	Traceurs Uranine (ppm)	mTFMBA (ppm)
267,0	27.10.83(06:10) - 28.10(22:30)	e.déionisée	500-550	8,8-8,6	2,5-2,8	0,14-0,20	1,6-1,5	12,9-12,5
	28.10.83(22:30) - 31.10.83	e.déionisée	550-510	~8,7	2,6-2,9	0,16-0,08	1,4-1,7	13,6-13,4
	1.11.83 - 14.11.83	e.déionisée	470-790	8,6-9,0	2,4-3,2	~0,2	1,8-1,2	n.d
	14.11.83 - 23.2.83	e.déionisée	>790	8,7-n.d	>3,25	n.d	<1,2	<14,1
	23.2.84 - 23.3(19:20)	e.déion.-sout.	65->5500	9,3-n.d	0,25-n.d	~0,2-n.d	<3,8-<2,2	<16,2-<10,07
218,1	16.10.83(18:00) - 18.10(14:30)	e.déionisée	500-530	9,0	2,4-2,6	0,24	1,7-1,5	13,9-13,5
	18.10.83(14:30) - 31.10.83	e.déionisée	450-550	8,9-8,7	2,3-2,9	0,2-0,08	1,4-1,7	12,1-13,6
	1.1.83 - 14.11.83	e.déionisée	470-790	8,6-9,0	2,4-3,2	~0,2	1,8-1,2	n.d
	14.11.83 - 23.2.84	e.déionisée	>790	8,7-n.d	>3,25	n.d	<1,2	<14,1
	23.2.84 - 11.4(15:00)	e.déion.-sout.	65->8300	9,3-n.d	0,25-n.d	~0,2-n.d	<3,8-<1,33	<16,2-<6,28
406,3	3.6.83(07:10-23:20)	bentonite	~20'000	~9,4	n.d	n.d	-	-
	3.6.83(23:20) - 19.6.83	bentonite	20'000-22'000	~9,4	n.d	n.d	-	-
	20.6.83 - 21.7.83	bentonite	22'000-27'000	~9,4	n.d	n.d	0,01-0,1	~2
	21.7.83 - 30.8.83	bentonite	24'000-26'000	~9,5	n.d	n.d	0,05-0,2	~3
	2.5.84 - 6.5(14:30)	e.déionisée	>600	~7,6-n.d	~1,6-n.d	~0,2-n.d	<0,6	<14
116,5	13.5.83(09:50-23:30)	bentonite	~15'000	~9,0	n.d	n.d	-	-
	13.5.83(23:30) - 19.6.83	bentonite	15'000-22'000	~9-9,4	n.d	n.d	-	-
	20.6.83 - 21.7.83	bentonite	22'000-27'000	~9,4	n.d	n.d	0,01-0,1	~2
	21.7.83 - 30.8.83	bentonite	24'000-26'000	~9,5	n.d	n.d	0,05-0,2	~2-3
	18.6.83 - 22.6(20:10)	e.déion.-sout.	50->730	8,1-n.d	0,15-n.d	0,09-n.d	3,16-<2,5	13,3-<10,1

Légende:

Alc.: alcalinité
p-Alc.: p-alcalinité
mTFMBA: acide métrifluorométhylbenzoïque
n.d.: non déterminé

e.: eau
déion.: déionisée
sout.: souterraine
bent.: bentonite

FORAGE: Weiach

TESTS HYDRAULIQUES

No Test	Intervalle (m)	Volume Intervalle (m ³)	Volume Tubage (m ³)	Volume Tube (m ³)	Transmissivité (m ² /s)	Perméabilité (m/s)
728,0	715,9-740,0	0,9	-	5,13	1E-09	4E-11
699,0	692,0-706,0	0,54	-	4,95	~1E-10	~1E-11
550,0	543,0-557,0	0,61	-	3,75	<1E-10	<1E-11
479,6	472,0-487,2	0,7	-	3,2	~1,5E-11	~1E-12
255,0	242,9-267,0	1,1	-	1,3	~1,4E-05	~6E-07
859,1	822,0-896,1	2,6	32	-	9E-05	1,2E-06
984,2	983,0-985,3	0,01	0,06	6,25	2E-06	18-06
985,3	981,0-989,6	0,65	-	6,10	4E-06	5E-07
2267,0	2260,5-2273,5	0,26	-	6,81	1E-09	1E-10
2218,1	2211,6-2224,6	0,08	-	6,67	1,3E-08	1E-09
1408,3	1401,1-1415,8	-	0,57	4,22	5E-09	2E-10
1116,5	1109,2-1123,8	-	0,69	5,90	1,4E-07	1E-08

Légende:

n.d.: non déterminé

A P P E N D I C E I I I

Forage de Riniken

Données	AIII-1:	périodes de forage
	AIII-2:	périodes intermédiaires
	AIII-3:	périodes d'écoulement
	AIII-4a,b:	fluides de forage (hydrochimie, traceurs)
	AIII-5:	tests hydrauliques

FORAGE: Riniken

PERIODES DE FORAGE

No Test	Intervalle (m)	Période de forage	Durée de forage		Pertes		Ecoulement artésien		Type de fluide	Traceurs	
			totale (h)	av.circ. (h)	durée (h)	vol. (m ³)	durée (h)	vol. (m ³)		Uranine (ppm)	mTFMBA (ppm)
515,7	501,0-530,5	19.7.83(03:00- 14:30)	11,5	11,5	11,5	n.d	0	0	bentonite	0,5	~2
656,7	617,3-696,0	27.7.83(17:40)- 15.8(01:00)	439	50,0	~30	10- 11	0	0	bentonite	0,7-1,4	2,3-16,2
806,6	793,0-820,2	30.8.83(10:05)- 11.9.83 12.9.83 - 14.9(09:30)	359,4	18,3	18,3	n.d	0	0	bentonite salée	n.d	20,6-14,2
				18,5	18,5	n.d	0	0	e.déionisée	5,7-4,25	n.d
965,5	958,4-972,5	27.9.83(09:30)- 28.9(06:05)	20,6	11,1	20,6	n.d	0	0	bentonite salée	n.d	12
993,5	977,0-1010,0	28.9.83(08:10)- 9.10(10:20)	266	37	>16	60	0	0	bentonite salée	n.d	10,5-9,5
1361,5	1354,0-1369,0	13.11.83(09:25- 14:15)	4,8	4,8	4,8	n.d	0	0	bentonite	8,5-8,9	18,6
513,0	500,3-525,8	19.7.83(03:25- 04:25) (10:40- 11:25)	8	1,7	1,7	n.d	0	0	bentonite	0,5	~2
625,7	613,0-638,5	27.7.83(19:40)- 13.8(05:40)		394	13,5	1,7	4,2	0	0	bentonite	0,7-1,4
798,7	786,0-811,5	13.9.83(07:35- 13:30)	5,9	2,4	0	0	0	0	e.déionisée	4,5	n.d

Légende:

av.circ.: avec circulation des fluides de forage

vol.: volume

Ecoulement: écoulement

mTFMBA: acide métatriméthylbenzoïque

e.: eau

n.d.: non déterminé

PORAGE: Riniken

PERIODES INTERMEDIAIRES

No Test	Période intermédiaire	Durée intermédiaire		Pertes		Ecouil. artésien		Type de fluide	Traceurs			
		totale (h)	av.activité (h)	durée (h)	vol. (m ³)	durée (h)	vol. (m ³)		Uranine (ppm)	mTFMBA (ppm)		
515,7	19.7.83(14:30) - 20.7(16:50)	26,4	2,5	2,5	n.d	0	0	bentonite	n.d	n.d		
656,7	15.8.83(01:00-21:10)	20,2	4	4	0,3	0	0	bent.-e.réseau	1.4-n.d	16,2-n.d		
806,6	14.9.83(09:30) - 15.9(03:45)	18,2	0	18,2	n.d	0	0	e.déionisée	~4,25	n.d		
965,5	28.9.83(06:05) - 29.9(07:35)	25,5	3,9	25,5	n.d	0	0	bentonite salée	n.d	~12		
993,5	9.10.83(10:20) - 19:10(11:00)	241	105	~107	100	0	0	bentonite salée	n.d	9,7-14,07		
1361,5	13.11.83(14:15) - 28.12.83	14160	228	~860	n.d	235	0,64	bentonite	8,7-2	18-6		
	e.réseau-sout.							3,35-0,86	16,2-8,08			
	e.déionisée							<9,1	<20,4			
513,5	19.7.83(11:25) - 10.8.83	16546	110	400	n.d	126	~20	bentonite	0,5	~2		
	7.6.85							e.réseau	n.d	n.d		
625,7	13.8.83(05:40) - 15.8.83	16092	1083	n.d	n.d	n.d	n.d	bentonite	1,4	16,2		
	15.8.83 - 21.8.83			26,5	6,5	96	626	e.réseau-sout.	n.d-<0,001	n.d-0,01		
	21.8.83 - 9.11.83			n.d	n.d	n.d	n.d	bentonite salée	n.d	21-<1		
	10.11.83 - 28.11.83			n.d	n.d	n.d	n.d	bentonite	10-2	20-6		
	7.6.85 - 13.6(17:30)			n.d	n.d	n.d	n.d	e.réseau	n.d	n.d		
798,7	13.9.83(13:30) - 15.9.83	15381	816	816	n.d	36,4	83,2	e.déionisée	4.25	n.d		
	15.9.83 - 17.9.83							n.d	n.d	e.déion.-sout.	4,25-<0,001	n.d-0,012
	17.9.83 - 18.9.83							n.d	n.d	e.déion.-sout.	n.d	n.d
	19.9.83 - 9.11.83							n.d	n.d	bentonite salée	n.d	21-8-<1
	10.11.83 - 28.11.83							n.d	n.d	bentonite	10-2	20-6
7.6.85 - 15.6(10:20)	n.d	n.d	e.réseau	n.d	n.d							

Légende:

av.: avec
 vol.: volume
 Ecouil.: écoulement
 mTFMBA: acide mêtatrilfluorméthylbenzoïque
 n.d.: non déterminé

e.: eau
 déion.: déionisée
 sout.: souterraine
 bent.: bentonite

FORAGE: Riniken

PERIODES D'ÉCOULEMENT

No Test	Période de test	Durée (h)	Essais hydrauliques			Nettoyage			Traceurs		Tritium (TU)
			Période	Durée (h)	Volume (m ³)	Période	Durée (h)	Volume (m ³)	Uranine (ppm)	mTFMBA (ppm)	
515,7	20.7.83(16:50)- 25.7(18:10)	121,2	20.7(17:00- 18:05) 20.7(18:32)- 21.7(02:27)	9,0	1,2	20.7(02:27)- 25.7(14:00)	107,5	21,6	0,0003	0,0035	< 1,2
656,7	15.8.83(21:10)- 19.8(22:30)	97,3	-			-	-	15.8(22:30)- 17.8(22:30)	48	617,5	0,001
806,6	15.9.83(03:45)- 17.9(06:45)	51,0	-	-	-	15.9(05:25)- 16.9(21:10)	39,8	84	0,001	0,012	0,7±0,7
965,5	29.9.83(07:35)- 5.10(16:50)	153,2	29.9(09:57- 10:36) 29.9(15:11- 16:08) 29.9(23:55)- 30.9(09:17)	13	2,0	30.9(09:17)- 4.10(17:15)	103,9	9,8	n.d	0,096	< 1,1
993,5	19.10.83(11:00)- 3.11(18:00)	367,0	-			-	-	19.10(12:15)- 3.11(11:00)	358,8	775,6	n.d
1361,5	25.6.85(14:30)- 16.7(09:35)	499,1	-	-	-	25.6(16:20)- 15.7(10:10)	474,0	5,2	1,6	5,7	31,7±3,7
513,0	7.6.85(21:35)- 13.6(15:55)	138,3	7.6(21:40- 22:49)	1,1	0,01	10.6(15:00)- 13.6(08:00)	65,0	3,1	0,13	1,76	n.d
625,7	13.6.85(17:30)- 15.6(08:25)	38,9	-	-	-	13.6(17:45)- 15.6(08:25)	38,7	24,9	0,014	0,23	n.d
798,7	15.6.85(10:20)- 17.6(10:50)	48,5	-	-	-	15.6(10:50)- 17.6(08:00)	45,2	40,1	0,015	0,19	n.d

Légende:

mTFMBA: acide métatriméthylbenzoïque
 TU: unité tritium
 n.d.: non déterminé

FORAGE: Riniken

FLUIDES DE FORAGE (HYDROCHIMIE, TRACEURS)/1

No Test	Période	Type de fluide	Conductibilité électrique (uS/cm)	pH	Demande Alc. (mval/l)	d'acide p-Alc. (mval/l)	Traceurs Uranine (ppm)	mTFMBA (ppm)
515,7	19.7.83(03:00) - 20.7(16:50)	bentonite	~12'800	~9,4	n.d	n.d	0,5	~2
656,7	27.7.83(17:40-20.30)	bentonite	~18'000	~10	n.d	n.d	0,7	n.d
	8.8.83	bentonite	~14'600	~8,6	n.d	n.d	~1	~2,3
	12.8.83 - 15.8(01:00)	bentonite	~14'500-13'000	~9,7	n.d	n.d	~1,4	2,3-16,2
	15.8.83(01:00-02:00)	bentonite	13'000	~9,7	n.d	n.d	1,4	16,2
	15.8.83(02:00-21:00)	e.réseau	800	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
806,6	30.8.83(10:05) - 11.9.83	bentonite salée	~130'000	~9-11	n.d	n.d	n.d	20,6-14,2
	12.9.83 - 14.9(09:30)	e.déionisée	130-1850	~7,4	0,33-1,36	-0,05 - (-0,2)	5,7-4,25	n.d
965,5	27.9.83(09:30) - 29.9(07:35)	bentonite salée	~180'000	~9,8	7,4	n.d	n.d	12
993,5	28.9.83(08:10) - 9.10(10:20)	bentonite salée	~180'000-155'000	~10	n.d	n.d	n.d	10,5-9,5
	9.10.83(10:20) - 19.10(11:00)	bentonite salée	155'000-100'000	~10-11	n.d	n.d	n.d	9,7-14,07
1361,5	13.11.83(09:25-14:15)	bentonite	~33'000	~11	n.d	n.d	8,5-8,9	18,6
	13.11.83(14:15) - 28.12.83	bentonite	~33'000-18'000	~9-11	n.d	n.d	8,7-2	18-6
	22.5.85 - 19.6.85	e.réseau-sout.	500->34'000	~8,4-11	n.d-~7	n.d-~4,5	3,35-0,86	16,2-8,08
	19.6.85 - 25.6(14:30)	e.déionisée	>80	n.d	n.d	n.d	<9,1	<20,4
513,0	19.7.83(03:25-11:25)	bentonite	~13'000	~9,4	n.d	n.d	0,5	~2
	19.7.83(11:25) - 10.8.83	bentonite	13'000-18'000	10-8,5	n.d	n.d	0,5-~1	n.d-~2
	7.6.85(07:00-21:35)	e.réseau	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
625,7	27.7.83(19:40) - 13.8(05:40)	bentonite	18'000-14'000	10-8,5	n.d	n.d	0,7-1,4	n.d-~2
	13.8.83(05:40) - 15.8(02:00)	bentonite	14'000-13'000	~9,7	n.d	n.d	1,4	16,2
	15.8.83(02:00-21:00)	e.réseau	800	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
	15.8.83(21:00) - 21.8.83	e.souterraine	800-19'500	n.d-6,8	n.d-4,4	n.d - (-1,2)	n.d-<0,001	n.d-0,01
	21.8.83 - 9.11.83	bentonite salée	100'000 - 180'000	9-11	n.d	n.d	n.d	21-8-~1
	10.11.83 - 28.11.83	bentonite	40'000-18'000	9-11	n.d	n.d	10-2	20-6
	7.6.85 - 13.6(17:30)	e.réseau	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d

FORAGE: Riniken

FLUIDES DE FORAGE (HYDROCHIMIE, TRACEURS)/2

No Test	Période	Type de fluide	Conductibilité électrique (uS/cm)	pH	Demande d'acide		Traceurs	
					Alc. (mval/l)	p-Alc. (mval/l)	Uranine (ppm)	mTFMBA (ppm)
798,7	13.9.83(07:35-13:30)	e.déionisée	~1800	7,5	1-2	~0,15	4,5	n.d
	13.9.83(13:30) - 15.9.83	e.déionisée	~1800	7,4	1,3	-0,2	4,25	n.d
	15.9.83 - 17.9.83	e.déion.-sout.	1800~14'200	~7,0	9,5	~1,0	< 0,001	0,012
	17.9.83 - 18.9.83	e.déion.-sout.	~2000	~9	n.d	n.d	n.d	n.d
	19.9.83 - 9.11.83	bentonite salée	100'000 - 180'000	9-11	n.d	n.d	n.d	21-0-41
	10.11.83 - 28.11.83	bentonite	40'000-18'000	9-11	n.d	n.d	10-2	20-6
	7.6.85 - 15.6(10:20)	e.réseau	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d

Légende:

Alc.: alcalinité

p-Alc.: p-alcalinité

mTFMBA: acide métatriméthylbenzoïque

n.d.: non déterminé

e.: eau

déion.: déionisée

sout.: souterraine

FORAGE: Riniken

TESTS HYDRAULIQUES

No Test	Intervalle (m)	Volume Intervalle (m ³)	Volume Tubage (m ³)	Volume Tube (m ³)	Transmissivité (m ² /s)	Perméabilité (m/s)
515,7	501,0-530,5	1,1	-	3,9	1,5E-07	5E-09
656,7	617,3-696,0	3,2	50,0	-	6E-05	7E-07
806,6	793,0-820,2	0,6	-	5,3	4E-05	1,5E-06
965,5	958,4-972,5	0,50	-	5,15	6E-08	4E-09
993,5	977,0-1010,0	2,0	-	5,6	>1,6E-06	>5E-08
1361,5	1354,0-1369,0	-	0,7	4,0	n.d	n.d
513,0	500,3-525,8	-	0,4	1,5	n.d	n.d
625,7	613,0-638,5	-	0,4	1,8	n.d	n.d
798,7	786,0-811,5	-	0,4	2,3	n.d	n.d

Légende:

n.d.: non déterminé

A P P E N D I C E I V

Forage de Schafisheim

Données	AIV-1:	périodes de forage
	AIV-2:	périodes intermédiaires
	AIV-3:	périodes d'écoulement
	AIV-4a,b:	fluides de forage (hydrochimie, traceurs)
	AIV-5:	tests hydrauliques

FORAGE: Schafisheim

PERIODES DE FORAGE

No Test	Intervalle (m)	Période de forage	Durée de forage		Pertes		Ecoulement artésien		Type de fluide	Traceurs	
			totale (h)	av.circ. (h)	durée (h)	vol. (m ³)	durée (h)	vol. (m ³)		Uranine (ppm)	mTFMBA (ppm)
558,0	553,0-563,0	13.12.83(20:40-22:50)	2,2	2,2	2,2	n.d	0	0	bentonite	4	8
1260,4	1227,8-1293,0	22.1.84(02:45) - 11.2.84 11.2.84 - 14.2(00:00)	550	18,3	18,3	n.d	0	0	bentonite	4,9-2,5	15,6-12,7
				23,5	23,5	n.d	0	0	e.réseau	12-10,2	17,1-16,7
1488,7	1476,0-1500,4	2.3.84(09:55) - 17.3.84 17.3.84 - 19.3(20:00)	418	14,6	14,6	n.d	0	0	bentonite salée	0,16-0,04	17,5-11,4
				23,5	23,5	n.d	0	0	e.déionisée	13-8,7	0,14-0,17
1571,1	1564,5-1577,7	20.4.84(20:10) - 27.4.84 27.4.84 - 28.4(10:00)	182	27,1	27,1	n.d	0	0	bentonite salée	6,6-2,2	14,1-11,9
				9,0	9,0	n.d	0	0	e.déionisée	8,4-6,8	18,8
1887,9	1883,5-1892,3	8.6.84(11:35-22:30)	10,9	7,4	6,5	2	0	0	e.déionisée	9,6-10,4	10,8
1980,4 I	1954,3-2006,5	24.6.84(04:05) - 29.6(15:30)	131	54,4	>54,4	~33	0	0	e.déionisée	12,4-10,7	6,2-7,9
1980,4 II	1954,3-2006,5	24.6.84(04:05) - 29.6(15:30)	131	54,4	>54,4	~33	0	0	e.déionisée	12,4-10,7	6,2-7,9
1249,0	1238,6-1259,5	12.2.84(06:10-12:40)	6,5	2,0	2,0	n.d	4,5	n.d	e.réseau	11,5	n.d
1251,1	1240,7-1261,6	12.2.84(06:10-12:40)	6,5	2,0	2,0	n.d	4,5	n.d	e.réseau	11,5	n.d

Légende:

av.circ.: avec circulation des fluides de forage
 vol.: volume
 Ecoulement: écoulement
 mTFMBA: acide métatriméthylbenzoïque
 e.: eau
 n.d.: non déterminé

FORAGE: Schafisheim

PERIODES INTERMEDIAIRES

No Test	Période intermédiaire	Durée intermédiaire		Pertes		Ecoulement artésien		Type de fluide	Traceurs	
		totale (h)	av.activité (h)	durée (h)	vol. (m ³)	durée (h)	vol. (m ³)		Uranine (ppm)	mTFMBA (ppm)
558,0	13.12.83(22:50) - 16.12(15:20)	64,5	8,7	8,7	n.d	0	0	bentonite	4	8-8,9
1260,4	14.2.84(00:00) - 16.2(12:00)	60	5	5	n.d	35	75	e.réseau-sout.	<10,5	<17
1488,7	19.3.84(20:00) - 23.3(18:55)	94,9	0	94,9	n.d	0	0	e.déionisée	13-8,7	n.d
1571,1	28.4.84(10:00) - 29.4(10:00)	24	0	~15	21	~9	27	e.déion.-sout.	<6,8	<18,8
1887,9	8.6.84(22:30) - 12.6(10:05)	83,6	0	n.d	>1,8	0	0	e.déionisée	~10	~10,8
1980,4 I	29.6.84(15:30) - 29.7(12:25)	717	13,5	>13,5	~10	~30	~53	e.déion.-sout.	10,7-5,2	7,6-6,0
1980,4 II	29.6.84(15:30) - 22.8(08:50)	1289	13,5	>13,5	~10	~100	~120	e.déion.-sout.	10,4-4- 11,2	7,6-6- 8,5
1249,0	12.2.84(12:40) - 17.2.84	7881	510	~195	n.d	21,5	43	e.réseau-sout.	12-0,04	17-0,07
	17.2.84 - 21.4.84							bentonite salée	0,7-0,05- ~4	1,6-19- 11
	3.1.85 - 5.1.(22:00)							e.réseau + NaOH	~10	n.d
1251,1	12.2.84(12:40) - 17.2.84	8043	510	195	n.d	~52	~53	e.réseau-sout.	12-0,04	17-0,07
	17.2.84 - 21.4.84							bentonite salée	0,7-0,05- ~4	1,6-19- 11
	3.1.85 - 5.1.85							e.réseau + NaOH	~10	n.d
	5.1.85(22:00) - 11.1(07:10)							e.réseau+NaOH- bent.salée	11,7-14,4- 0,1	1,1-11- 4
	11.1.85(07:10) - 12.1(16:00)							n.d	n.d	n.d
	12.1.85(16:00) - 14.1(15:00)	+	+	+	+	+	e.réseau-bent. salée-e.sout.	11,8-0,006	>2,7-0,1	
	14.1.85(15:00) - 17.1(19:00)	123	0	0	n.d	~44	~34	bent.salée-?	7,66	2,26

Légende:

av.: avec
vol.: volume
Ecoul.: écoulement
mTFMBA: acide métatrifluorométhylbenzoïque
n.d.: non déterminé

e.: eau
déion.: déionisée
sout.: souterraine
bent.: bentonite

FORAGE: Schafisheim

PERIODES D'ECOLEMENT

No Test	Période de test	Durée (h)	Essais hydrauliques			Nettoyage			Traceurs		Tritium (TU)
			Période	Durée (h)	Volume (m ³)	Période	Durée (h)	Volume (m ³)	Uranine (ppm)	mTFMBA (ppm)	
558,0	16.12.83(15:20)- 20.12(24:00)	104,7	16.12(17:15- 17:30) 17:12(10:10- 15:05)	} 5,2	1,5	17.12(15:15)- 20.12(15:40)	72,4	11,3	0,028	0,084	<1,2
1260,4	16.2.84(12:00)- 17.2(23:00)	35,0	-			-	-	16.2(12:30)- 17.2(22:15)	33,8	50	0,024
1488,7	23.3.84(18:55)- 2.4(06:40)	228	-	-	-	24.3(10:45)- 1.4(08:00)	190	11,3	0,14	<0,005	1,8+0,7
						2.4(06:30)	212	8,6	1,48	<0,005	
1571,1	29.4.84(10:00)- 2.5(10:05)	72,1	29.4(12:14- 12:21) (13:08- 13:24) (15:54- 16:08) (17:01- 17:18) (18:10- 18:35)	} 1,3	2,6	30.4(00:55)- 2.5(02:45)	49,9	108,8	0,118	0,479	2,5+0,7
1887,9	12.6.84(10:05)- 18.6(06:15)	140,1	12.6(11:50- 11:55) (13:45- 13:53) (14:18- 15:32) (16:11- 17:20)			} 2,6	1,2	13.6(12:31)- 17.6(23:30)	107,0	207,8	0,07
1980,4 I	29.7.84(12:25)- 3.8(12:30)	120,1	-	-	-			30.7(17:30)- 2.8(15:00)	69,5	63,5	~4
						3.8(11:00)	71,5	65,8	-	-	-
1980,4 II	22.8.84(08:50)- 28.8(11:30)	146,7	-	-	-	22.8(12:40)- 27.8(19:10)	126,5	114,5	1,67	1,57	15,7+1,1
1249,0	5.1.85(22:00)- 11.1(07:10)	33,2	7.1(13:38- 13:48) (14:36- 19:34)	} 5,1	1,6	8.1(18:00)- 10.1(12:00)	~25	~8	0,32	~4	-
1251,1	12.1.85(16:00)- 14.1(15:00)	47,0	-			-	-	12.1(16:05)- 15.1(14:00)	~44	~34	0,006
	17.1.85(19:00)- 22.1(14:00)	115,0	-	-	-	17.1(19:05)- 18.1(08:15) 19.1(17:15)- 21.1(18:50)	~54	~39	0,015	0,08	1,4+0,7

Légende:

mTFMBA: acide métatriméthylbenzoïque

TU: unité tritium

FORAGE: Schafisheim

FLUIDES DE FORAGE (HYDROCHIMIE, TRACEURS)/1

No Test	Période	Type de fluide	Conductibilité électrique (uS/cm)	pH	Demande d'acide		Traceurs	
					Alc. (mval/l)	p-Alc. (mval/l)	Uranine (ppm)	mTFMBA (ppm)
558,0	13.12.83(20:40-22:50)	bentonite	9600	~12	n.d	n.d	4,0	8,0
	13.12.83(22:50) - 16.12(15:20)	bentonite	~9600	~12	n.d	n.d	~4,0	8-8,9
1260,4	22.1.84(02:45-12:00)	bentonite	~19'000	~8,5	n.d	n.d	2,8-3,0	15,6-14,8
	22.1.84(12:00) - 11.2.84	bentonite	18'000-19'000	~9	n.d	n.d	4,9-2,5	14,2-12,7
	11.2.84-14.2(00:00)	e.réseau	720-3250	8,3-11,7	5,9-0,6-4,1	0,05-3,0	~12-10,2	17,1-16,7
	14.2.84(00:00) - 16.2(12:00)	e.réseau-sout.	~3300-n.d	11,5-n.d	3,8-n.d	2,8-n.d	10,45-10,86	17,0
1488,7	2.3.84(09:55) - 17.3.84	bentonite salée	~170'000-150'000	11,9-11,3	n.d	n.d	0,16-0,04	17,5-11,4
	17.3.84 - 19.3(20:00)	e.déionisée	120-870	~8,3	~0,55	~ -0,02	~13	0,14-0,17
	19.3(20:00) - 23.3(18:55)	e.déionisée	>870	n.d	n.d	n.d	13-8,7	n.d
1571,1	20.4.84(20:10) - 27.4.84	bentonite salée	~170'000	~10	n.d	n.d	6,6-2,2	14,1-11,9
	27.4.84 - 28.4(10:00)	e.déionisée	610-1440	11,4-12	~12	~1,8	8,4-6,8	18,8
	28.4.84(10:00) - 29.4(10:00)	e.déion.-sout.	>1440	n.d	n.d	n.d	<6,8	<18,8
1887,9	8.6.84(11:35-22:30)	e.déionisée	370	10,7	1,58	1,24	9,6-10,4	10,8
	8.6.84(22:30) - 12.6(10:05)	e.déionisés	~370	~10,7	~1,58	~1,24	~10	~10,8
1980,4 I	24.6.84(04:05) - 29.6(15:30)	e.déionisée	~400-200	9,5-10,0	0,5-0,8	0,12-0,17	12,4-10,7	6,2-7,9
	29.6.84(15:30) - 20.7.84	e.déion.-sout.	200-1310	~10-8,3	0,8-1,5	0,17-n.d	10,7-7,2	7,4-7,6
	20.7.84 - 25.7.84	e.déion.-sout.	1310-6400	8,3-7,4	1,5-6,4	n.d-(-0,6)	7,2-~5	n.d
	25.7.84 - 29.7.84	e.déion.-sout.	6400-2540	7,4-7,3	6,4-2,8	-0,6-(-0,08)	~5-5,2	n.d-6,0
1980,4 II	24-6-84(04:05) - 29.6(15:30)	e.déion.-sout.	~400-200	9,5-10,0	0,5-0,8	0,12-0,17	12,4-10,7	6,2-7,9
	29.6.84(15:30) - 20.7.84	e.déion.-sout.	200-1310	~10-8,3	0,8-1,5	0,17-n.d	10,7-7,2	7,4-7,6
	20.7.84 - 25.7.84	e.déion.-sout.	1310-6400	8,3-7,4	1,5-6,4	n.d-(-0,6)	7,2-~5	n.d
	25.7.84 - 29.7.84	e.déion.-sout.	6400-2540	7,4-7,3	6,4-2,8	-0,6-(-0,08)	~5-5,2	n.d-6,0
	29.7.84 - 3.8.84	e.déion.-sout.	2540-~8000	~7,3	2,8-7,7	-0,08-(-1,2)	5,2-~4	6,0-n.d
3.8.84 - 22.8(08:50)	e.déion.-sout.	~8000-970	7,3-11,1	7,7-1,8	-1,2-1,8	~4-11,2	n.d-8,5	

FORAGE: Schafisheim

FLUIDES DE FORAGE (HYDROCHIMIE, TRACEURS)/2

No Test	Période	Type de fluide	Conductibilité électrique (uS/cm)	pH	Demande d'acide		Traceurs	
					Alc. (mval/l)	p-Alc. (mval/l)	Uranine (ppm)	mTFMBA (ppm)
1249,0	12.2.84(06:10-12:40)	a.réseau	~900	8,6	2,4	0,11	11,5	n.d
	12.2.84(12:40) - 16.2.84	e.réseau-sout.	900-~3300	~11,5	0,6-3,9	0,6-3,0	12-10,5	~17
	16.2.84 - 17.2.84	e.souterraine	3300-~23'000	11,5-8,5	4,1-18,7	3,0-<0,5	10,2-0,04	16,7-0,07
	19.2.84 - 21.4.84	bentonite salée	40'000-170'000	~11	n.d	n.d	0,7-0,05-~0,4	1,6-19-11
	3.1.85 - 5.1(22:00)	e.réseau + NaOH	n.d	~12,5	n.d	n.d	~10	n.d
1251,1	12.2.84(06:10-12:40)	e.réseau	~900	8,6	2,4	0,11	11,5	n.d
	12.2.84(12:40) - 16.2.84	e.réseau-sout.	900-~3300	~11,5	0,6-3,9	0,6-3,0	12-10,5	~17
	16.2.84 - 17.2.84	a.souterraine	3300-~23'000	11,5-8,5	4,1-18,7	3,0-<0,5	10,2-0,04	16,7-0,07
	19.2.84 - 21.4.84	bentonite salée	40'000-170'000	~11	n.d	n.d	0,7-0,05-~0,4	1,6-19-11
	3.1.85 - 5.1(22:00)	e.réseau + NaOH	n.d	~12,5	n.d	n.d	~10	n.d
	5.1.85 - 11.1.85	e.réseau+NaOH-bentonite salée	11'750-123'000	12,6-7,3	n.d	n.d	11,7-14,4-0,1	1,1-11-4
	11.1.85 - 12.1(16:00)	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
	12.1.85(16:00) - 14.1(15:00)	a.réseau-bent. salée-e.sout.	610-35'800-25'200	8,2-13-6,8	n.d-112-18	n.d-110-(-3,2)	11,8-0,006	>2,7-0,1
	14.1.85(15:00) - 17.1(19:00)	bent.salée-?	~82'000	12,1	n.d	n.d	7,66	2,26

Légende:

Alc: alcalinité

p-Alc.: p-alcalinité

mTFMBA: acide métatriméthylbenzoïque

n.d.: non déterminé

e.: eau

déli.: déionisée

sout.: souterraine

bent.: bentonite

FORAGE: Schafisheim

TESTS HYDRAULIQUES

No Test	Intervalle (m)	Volume Intervalle (m ³)	Volume Tubage (m ³)	Volume Tube (m ³)	Transmissivité (m ² /s)	Perméabilité (m/s)
558,0	553,0-563,0	0,37	-	3,8	5E-07	5E-08
1260,4	1227,8-1293,0	2,5	1,0	4,6	3,3E-06	5E-08
1488,7	1476,0-1500,4	0,63	0,02	6,55	2,4E-08	1E-09
1571,1	1564,5-1577,7	0,48	1,25	6,82	>1E-06	>1E-07
1887,9	1883,5-1892,3	0,13	-	7,86	>1E-05	>1E-06
1980,4 I	1954,3-2006,5	0,76	-	7,86	n.d	n.d
1980,4 II	1954,3-2006,5	0,76	-	8,08	n.d	n.d
1249,0	1238,6-1259,5	-	0,82	5,9	~2E-07	~1E-08
1251,1	1240,7-1261,6	-	0,82	3,7	n.d	n.d

Légende:

n.d.: non déterminé

A P P E N D I C E V

Forage de Kaisten

Données AV-1: périodes de forage
AV-2: périodes intermédiaires
AV-3: périodes d'écoulement
AV-4: fluides de forage (hydrochimie, traceurs)
AV-5: tests hydrauliques

FORAGE: Kaisten

PERIODES DE FORAGE

No Test	Intervalle (m)	Période de forage	Durée de forage		Pertes		Ecoui. artésien		Type de fluide	Traceurs	
			totale (h)	av.circ. (h)	durée (h)	vol. (m ³)	durée (h)	vol. (m ³)		Uranine (ppm)	mTFMBA (ppm)
113,5	97,0-129,9	20.2.84(04:15-18:30)	14,2	10,2	14,2	n.d	0	0	e.réseau	5,82	20,54
284,3	276,0-292,5	28.2.84(02:20-16:30)	14,2	10,2	5,5	5,6	4,0	n.d	e.réseau	0,01-0,07	0,07-0,44
310,4	299,3-321,5	11.3.84(10:30) - 13.3(12:40)	50,2	38,7	38,7	n.d	11,5	>0,08	e.déionisée	6,9-13,5	17,1-22,3
482,6	475,5-489,8	30.3.84(11:30) - 31.3(14:00)	26,5	17,0	17,0	n.d	9,5	n.d	e.déionisée	10,4-9,4	17,2
656,4	644,0-668,9	13.4.84(05:40) - 15.4(07:10)	49,5	27,5	27,5	~28	22,0	~4	e.déionisée	7,8-5,1-~11	3,5-1,2
819,4	816,0-822,9	30.4.84(11:15-17:30)	6,2	5,7	5,7	~3,4	0,5	0,2	e.déionisée	9,7	n.d
1031,0	1021,0-1049,9	2.6.84(09:35) - 3.6(17:00)	31,4	20,9	20,9	n.d	0	0	e.déion.-sout.	10,9-2,6	~0,1
1153,3	1140,8-1165,8	13.6.84(15:45) - 16.6(12:20)	68,6	31,0	31,0	n.d	37,6	n.d	e.déion.-sout.	9,5-7,9	n.d
1271,9	1238,0-1305,8	21.6.84(16:00) - 27.6(24:00)	152	57,5	57,5	n.d	59,5	n.d	e.déion.-sout.	6,5-19,5	n.d

Légende:

av.circ.: avec circulation des fluides de forage

vol.: volume

mTFMBA: acide métatrifluorméthylbenzoïque

Ecoui.: écoulement

e.: eau

déion.: déionisée

sout.: souterraine

n.d.: non déterminé

FORAGE: Kaisten

PERIODES INTERMEDIAIRES

No Test	Période intermédiaire	Durée intermédiaire		Pertes		Ecoulement artésien		Type de fluide	Traceurs	
		totale (h)	av.activité (h)	durée (h)	vol. (m ³)	durée (h)	vol. (m ³)		Uranine (ppm)	mTFMBA (ppm)
113,5	20.2.84(18:30) - 21.2(02:45)	8,2	0	8,2	n.d	0	0	e.réseau	n.d	n.d
284,3	28.2.84(16:30) - 29.2(02:50)	10,3	0	0	0	10,3	n.d	e.réseau	n.d	n.d
310,4	13.3.84(12:40- 22:40)	10	0	0	0	10	>1,4	e.déionisée	n.d	n.d
482,6	31.3.84(14:00) - 2.4(09:00)	43	5	5	n.d	34,7	>2	e.déionisée	10,5-7,7	18,5-13,4
656,4	15.4.84(07:00) - 21.4(01:00)	137,8	39,2	39,2	~18	~81	~21	e.déion.-sout.	~11-8,1- <8,4	0,12-n.d
819,4	30.4.84(17:30) - 1.5(06:50)	13,3	0	0	0	13,3	6	e.déion.-sout.	<9,7	n.d
1031,0	3.6.84(17:00) - 5.6(17:05)	48,1	0	0	0	~24	~116	e.souterraine	0,05-0,013	n.d
1153,3	16.6.84(12:20) - 6.8(13:40)	1225	~127	~127	n.d	~978	n.d	e.déion.-sout.	~6-~11- <<11	n.d
1271,9	27.6.84(24:00) - 18.8(12:50)	1237	0	0	n.d	~600	n.d	e.déion.-sout.	<<11	n.d

Légende:

ev.: avec
vol.: volume
Ecoulement: écoulement
mTFMBA: acide métetrifluorméthylbenzoïque

e.: eau
déion.: déionisée
eout.: souterraine
n.d.: non déterminé

FORAGE: Kaisten

PERIODES D'ECOULEMENT

No Test	Période de test	Durée (h)	Essais hydrauliques			Nettoyage			Traceurs		Tritium (TU)
			Période	Durée (h)	Volume (m ³)	Période	Durée (h)	Volume (m ³)	Uranine (ppm)	mTFMBA (ppm)	
113,5	21.2.84(02:45) - 23.2(17:10)	62,4	21.2(05:47- 07:00) { 07:52- 13:00)	6,3	0,8	21.2(14:10)- 23.2(15:00)	48,9	50,0	0,02	0,06	0,4 _{±0,2}
284,3	29.2.84(02:50) - 2.3(00:30)	45,7	-	-	-	29.2(05:55)- 1.3(14:00)	28,9	183,5	0,0009	0,004	0,7 _{±0,3}
310,4	13.3.84(22:40) - 16.3(01:30)	50,8	14.3(03:28- 03:39) { 03:46- 04:13) { 04:22- 05:36)	1,9	1,3	14.3(06:51- 15.3(14:25)	32,5	48,1	0,05	0,085	1,1 _{±0,7}
482,6	2.4.84(09:55) - 3.4(22:25)	36,5	-	-	-	2.4(09:55)- 3.4(22:00)	36,1	67,3	0,06	0,10	1,3 _{±0,7}
656,4	21.4.84(01:00) - 23.4(16:10)	63,2	21.4(01:04- 02:07) { 06:25- 06:34) { 06:57- 13:28)	7,7	3,0	21.4(13:28)- 23.4(14:00)	48,5	53,2	0,48	0,115	6,7 _{±0,7}
819,4	1.5.84(06:50) - 3.5(09:10)	50,4	1.5(06:52- 07:00) { 10:09- 12:00)	2,3	1,54	1.5(12:09)- 3.5(03:00)	38,9	43,2	0,044	0,0103	0,9 _{±0,7}
1031,0	5.6.84(17:05) - 6.6(12:20)	19,3	-	-	-	5.6(17:10)- 6.6(07:15)	14,1	~72	0,015	<0,001	<0,8
1153,3	6.8.84(13:40) - 14.8(11:42)	166	6.8(13:40- 14:53) { 15:59- 16:25) { 18:12- 7.8(-08:20) { 09:00- 09:10)	16,0	0,72	7.8(09:10)- 13.8(11:20)	146,1	7,4	0,06	n.d	<0,8
1271,9	18.8.84(12:50) - 28.8(12:55)	240,1	18.8(13:00- 14:45) { 15:17- 15:35) { 16:35- 17:50) { 19.8(08:21- 20.8(-08:53) { 09:35- 10:05) { 11:14- 17:15)	34,3	1,57	20.8(17:15)- 27.8(21:30)	172,3	13,46	0,082	n.d	1,2 _{±0,7}

Légende:

mTFMBA: acide métatriméthylbenzoïque

TU: unité tritium

n.d.: non déterminé

FORAGE: Kaisten

FLUIDES DE FORAGE (HYDROCHIMIE, TRACEURS)

No Test	Période	Type de fluide	Conductibilité électrique (uS/cm)	pH	Demande d'Alc. (mval/l)	d'acide p-Alc. (mval/l)	Traceurs Uranine (ppm)	mTFMBA (ppm)
113,5	20.2.84(04:15) - 21.2(02:45)	e.réseau	~2400	7,6	1,96	-1,2	5,82	20,54
284,3	28.2.84(02:20) - 29.2(02:50)	e.réseau	~1000	7,7	n.d	n.d	0,01-0,072	0,07-0,44
310,4	11.3.84(10:30) - 13.3(12:40)	e.déionisée	430-1400	~11,7	2,0-6,2-4,6	1,9-6-4,3	6,9-13,5	17,1-22,3
482,6	30.3.84(11:30) - 1.4(14:05)	e.déionisée	100-70	~9,2	0,57-0,41	0,06-0,02	10,4-9,4	~17,2
	1.4.84(14:05-23:25)	e.déion.-sout.	80-780	9,4-8,5	0,7-2,57	0,12-0,07	10,5-7,7	18,45-13,38
	1.4.84(23:25) - 2.4(09:00)	e.déion.-sout.	~780	~8,5	~2,57	~0,07	~7,7	~13,4
656,4	13.4.84(05:40) - 15.4(07:10)	e.déionisée	~60-80	8,8-9,5	0,24-0,39	0,02-0,04	7,8-5,1-~11	3,5-1,2
	15.4.84(07:10) - 18.4.84	e.déionisée	80-~130	~9,5	0,44-0,53	0,05-0,14	~11-8,1	0,12
	18.4.84 - 21.4(01:00)	e.déion.-sout.	>130	n.d	n.d	n.d	<8,4	n.d
819,4	30.4.84(11:15-17:30)	e.déionisée	~115	9,2	0,57	0,02	9,7	n.d
	30.4.84(17:30) - 1.5(06:50)	e.déion.-sout.	>115	n.d	n.d	n.d	<9,7	n.d
1031,0	2.6.84(09:35) - 3.6(17:00)	e.déion.-sout.	~350-1260	9,2-7,7	1,2-0,9-4,35	0,14-0,2-(-0,3)	10,9-2,6	~0,1
	3.6.84(17:00) - 5.6(17:05)	e.souterraine	1550-~2000	~7,5	~5,7	~(-0,5)	0,05-0,013	n.d
1153,3	13.6.84(15:45) - 16.6(12:20)	e.déion.-sout.	~150-250	~9,3	1,53-0,84	0,15-0,02	9,5-7,9	n.d
	16.6.84(12:20) - 27.6.84	e.déion.-sout.	~100-650-200	~9,3-9,0	0,7-2,3	0,02-0,18	~6-~11	n.d
	27.6.84 - 6.8(13:40)	e.souterraine	~200-~1600	<9,0	>2,3	n.d	<<11	n.d
1271,9	21.6.84(16:00) - 27.6(24:00)	e.déion.-sout.	~200-650-200	~9,3-9,0	1,2-2,3	0,1-0,07	9,5-6,5-19,5-~11	n.d
	27.6.84(24:00) - 18.6(12:50)	e.déion.-sout.	~200-~1600	<9,0	>2,3	n.d	<<11	n.d

Légende:

Alc.: alcalinité

p-Alc.: p-alcalinité

mTFMBA: acide métatriméthylbenzoïque

n.d.: non déterminé

e.: eau

déion.: déionisée

sout.: souterraine

FORAGE: Kaisten

TESTS HYDRAULIQUES

No Test	Intervalle (m)	Volume Intervalle (m ³)	Volume Tubage (m ³)	Volume Tube (m ³)	Transmissivité (m ² /s)	Perméabilité (m/s)
113,5	97,0-129,9	1,2	-	0,76	4E-05	1,2E-06
284,3	276,0-292,5	0,6	-	2,2	3,5E-04	2,1E-05
310,4	299,3-321,5	0,97	-	2,36	2,2E-05	1E-06
482,6	475,5-489,8	0,23	-	2,6	2,4E-05	1,7E-06
656,4	644,0-668,9	0,35	-	4,05	>2,5E-06	>1E-07
819,4	816,0-822,9	0,1	-	4,4	4,8E-06	7E-07
1031,0	1021,0-1040,9	0,27	-	5,25	>1,2E-04	>6E-06
1153,3	1140,8-1165,8	0,35	-	3,44	2,2E-07	9E-09
1271,9	1238,0-1305,8	0,95	-	3,73	6,8E-08	1E-09

Légende:

n.d.: non déterminé

A P P E N D I C E VI

Forage de Leuggern

Données	AVI-1:	périodes de forage
	AVI-2:	périodes intermédiaires
	AVI-3:	périodes d'écoulement
	AVI-4a,b:	fluides de forage (hydrochimie, traceurs)
	AVI-5:	tests hydrauliques

FORAGE: Leuggern

PERIODES DE FORAGE

No Test	Intervalle (m)	Période de forage	Durée de forage		Pertes		Ecoulement artésien		Type de fluide	Traceurs	
			totale (h)	ev.circ. (h)	durée (h)	vol. (m ³)	durée (h)	vol. (m ³)		Uranine (ppm)	mTFMBA (ppm)
74,9	53,5-96,5	9.7.84(18:30) - 12.7(14:00)	67,5	42,5	>19,5	>6,1	0	0	e.réseau	0	20,2-23,7
217,9	208,2-227,5	24.7.84(14:55) - 2.8(19:00)	220,1	18,6	9,5	7-12	3,5	>0,23	bentonite salée-e.déionisée	4-1,3 8-11,2	17,4-8,4 15-14,1
251,2	235,1-267,5	9.8.84(13:30) - 11.8(22:00)	56,5	32	>34,5	>0,25	>1	>0,6	e.déionisée	7,7-6,2	12,9-15,4
444,2	440,4-448,1	10.9.84(18:45) - 11.9(06:30)	11,8	7,8	7,8	n.d	>0,6	>0,05	e.déionisée	15,7-13,0	(16,3)
538,0	507,4-568,6	18.9.84(17:50) - 22.9(05:00)	83,2	57,8	57,8	n.d	6	>0,3	e.déionisée	4,6-8,6- 6,8	18,1-17,0
705,7	702,0-709,5	15.10.84(23:55) - 16.10(19:35)	8,1	6,6	~1	~0,5	2,7	n.d	e.déionisée	~9,7	21,54-21,4
923,0	916,2-929,7	10.11.84(00:20) - 12.11(12:20)	58,0	11,9	11,9	n.d	1,1	>0,02	e.déionisée	8,2-8,0	19,1-19,9
1192,5	1176,2-1208,8	14.12.84(07:45) - 16.12(11:05)	51,3	30,3	30,3	n.d	21	n.d	e.déionisée	7,1-6,7	19,7-19,1
643,4	1637,4-1649,3	11.2.85(01:00-21:30)	20,5	12,5	1	n.d	0	0	e.déionisée	~6,8	18,4-18,1
847,0	834,5-859,5	27.10.84(01:40) - 28.10(20:00)	42,3	20,3	20,3	n.d	0,5	0,1	e.déionisée	8,1-7,6	20,6-19,8
203,2	1179,3-1227,2	14.12.84(10:35) - 17.12(10:35)	72	41	41	n.d	31	n.d	e.déionisée	7,6-6,6	19,7-19,1
665,5	1642,2-1688,9	11.2.85(06:25) - 19.2(02:00)	188	37	30,5	~95	>46	>163	e.déionisée	5,7-~7	12,5-19,2
433,4	1427,4-1437,4	16.1.85(11:00) - 18.1(17:35)	54,6	12,6	12,6	n.d	42	n.d	e.déionisée	8,1-9,6	19,4-18,0

Légende:

v.circ.: avec circulation des fluides de forage

vol.: volume

TFMBA: acide tétrifluorométhylbenzoïque

e.: eau

Ecoul.: écoulement

n.d.: non déterminé

FORAGE: Leuggern

PERIODES INTERMEDIAIRES

No Test	Période intermédiaire	Durée intermédiaire		Pertes		Ecoulement artésien		Type de fluide	Traceurs	
		totale (h)	av. activité (h)	durées (h)	vol. (m ³)	durées (h)	vol. (m ³)		Uranine (ppm)	mTFMBA (ppm)
74,9	12.7.84(14:00) - 13.7(08:10)	18,2	0	17,9	~5	0,3	n.d	e. réseau	0	~23,7
217,9	2.8.84(19:00) - 3.8(03:40)	8,7	0	6,2	0,07	2,5	>0,24	e. déionisée	~11,24	~14,07
251,2	11.8.84(22:00) - 13.8(00:25)	26,5	0	0	0	>2,5	>0,6	e. déionisée	~6,2	~15,4
444,2	11.9.84(06:30-16:10)	9,6	0	~0,3	~0,01	~1	~0,2	e. déionisée	12,66	16,63
538,0	22.9.84(05:00) - 25.9(19:20)	86,3	7	7	n.d	~32	~10	e. déion.-sout.	<6,8-4,72	<17-11,66
705,7	16.10.84(08:00-19:35)	11,6	0	0	0	11,6	0,3	e. déionisée	~9,7	~21,4
923,0	12.11.84(12:20) - 25.11(05:30)	305,2	162,7	162,7	n.d	>6,8	~0,05	e. déionisée	8,3-7,4- <7,15	18,6-20,5- <19,5
1192,5	16.12.84(11:05) - 27.12(09:10)	262,1	100,4	100,4	n.d	>20	n.d	e. déionisée	~6,7-11- <7,4	~19-28,8- <22,3
1643,4	11.2.85(21:30) - 13.2(17:20)	43,8	0	<25	n.d	1,2	0,9	e. déionisés	~6,8	~18,1
847,0	28.10.84(20:00) - 19.2.85	3450	~860	~860	n.d	~2780	n.d	e. déion.-sout.	5-12	10-29
	19.2.85 - 21.3(17:05)							e. déion.-sout.	<7,4	<17,3
1203,2	17.12.84(10:35) - 19.2.85							e. déion.-sout.	5,7-12	12,5-2,9
	19.2.85 - 28.3(15:55)	2430	~520	~517	n.d	~1690	>1	e. déion.-sout.	<7,4	<17,3
1665,5	19.2.85(02:00) - 25.4(19:00)	1577	1	1	n.d	>50	>237	e. déion.-sout.	<7	<19,2
1433,4	18.1.85(17:35) - 19.2.85	2494	301	301	n.d	1341	n.d	e. déion.-sout.	9,6-5,7	22,6-18
	19.2.85 - 2.5(15:15)							e. déion.-sout.	<7,4	<17,3

Légende:

av.: avec
 vol.: volume
 Ecoul.: écoulement
 mTFMBA: acide métrifluorméthylbenzoïque

e.: eau
 déion.: déionisée
 sout.: souterraine
 n.d.: non déterminé

FORAGE: Leuggern

PERIODES D'ÉCOULEMENT

No Test	Période de test	Durée (h)	Essais hydrauliques			Nettoyage			Traceurs		Tritium (TU)
			Période	Durée (h)	Volume (m ³)	Période	Durée (h)	Volume (m ³)	Uranine (ppm)	mTFMBA (ppm)	
74,9	13.7.84(08:10)- 18.7(15:15)	127,1	-	-	-	13.7(08:10)- 18.7(15:15)	127,1	111,1	n.d	≈0,45	11,6 _{+1,1}
217,9	3.8.84(03:40)- 8.8(16:20)	133	3.8(07:07- 07:26) (09:03- 09:21) 4.8(18:13- 20:05)	2,5	1,45	4.8(20:05)- 8.8(10:20)	86,2	23,55	0,019	0,028	<0,8
251,2	13.8.84(00:25)- 14.8(23:45)	47,3	-	-	-	13.8(02:35)- 14.8(19:50)	99,9	66	0,017	0,029	0,8 _{+0,7}
444,2	11.9.84(16:10)- 15.9(04:50)	84,7	-	-	-	12.9(09:10)- 14.9(22:15)	59,3	9,9	0,128	0,26	<1,2
538,0	25.9.84(19:20)- 28.9(03:30)	56,2	25.9(19:20- 20:53) (21:47- 22:04) 22:47- 26.9(-00:46)	3,8	0,8	26.9(09:30)- 27.9(22:00)	36,5	43,4	0,012	0,032	<1,0
705,7	16.10.84(19:35)- 18.10(10:30)	38,9	17.10(00:28- 00:33) (01:27- 04:04)	2,7	0,8	17.10(04:10)- 18.10(04:00)	23,8	31,7	0,016	0,035	<1,3
923,0	25.11.84(05:30)- 7.12(17:40)	300,2	25.11(07:59- 08:20)	0,4	0,9	25.11(09:30)- 7.12(13:40)	292,2	13,05	0,25	0,75	2,8 _{+0,7}
1192,5	27.12.84(09:10)- 29.12(22:00)	60,8	27.12(11:36- 11:50) (13:17- 15:38) (16:15- 21:00)	6,4	1,28	27.12(21:00)- 29.12(20:22)	47,3	3,27	0,542	1,55	n.d
1643,4	13.2.85(17:20)- 15.2(23:30)	54,2	-	-	-	13.2(18:40)- 15.2(16:00)	45,3	170,9	0,056	0,139	0,7 _{+0,7}
847,0	21.3.85(17:05)- 27.3(13:30)	140,3	21.3(19:11)- 22.3(07:14) 22.3(08:05- 08:26)	12,4	2,3	22.3(09:08)- 26.3(15:00)	101,9	22,9	0,18	0,56	2,2 _{+0,7}
1203,2	28.3.85(15:55)- 23.4(11:50)	619,9	28.3(18:49)- 29.3(09:22)	25,3	1,4	29.3(20:28)- 22.4(19:20)	574,9	12,0	0,1	0,2	1,3 _{+0,7}
1665,5	25.4.85(19:00)- 1.5(08:20)	133,3	25.4(19:26)- 26.4(10:15)	14,8	4,3	26.4(10:15)- 30.4(14:00)	99,8	196,0	0,082	0,183	n.d
1433,4	2.5.85(15:15)- 15.5(12:55)	309,6	-	-	-	2.5(16:30)- 15.5(08:20)	303,8	5,0	0,069	0,35	<1,4 _{+0,9}

Légende:

mTFMBA: acide métatriméthylbenzoïque
 TU: unité tritium
 n.d.: non déterminé

FORAGE: Leuggern

FLUIDES DE FORAGE (HYDROCHIMIE, TRACEURS)/1

No Test	Période	Type de fluide	Conductibilité électrique (uS/cm)	pH	Demande d'acide		Traceurs	
					Alc. (mval/l)	p-Alc. (mval/l)	Uranine (ppm)	mTFMBA (ppm)
74,9	9.7.84(18:30) - 13.7(08:10)	e.réseau	390-360	8,0-8,6	3,2-2,5	-0,05-0,05	0	20,2-23,7
217,9	24.7.84(14:55) - 1.8.84	bentonite salée	195'000-150'000	11,4-10,0	6-1,5	3,2-0,8	4-1,3	17,4-8,4
	1.8.84 - 2.8(19:00)	e.déionisée	130-640	11,4-10,6	0,23	1,24	8,0-11,2	15-14,1
251,2	9.8.84(13:30) - 13.8(00:25)	e.déionisée	440-~700	10-10,8	1-1,95	0,75-1,4	7,7-6,2	12,9-15,4
444,2	10.9.84(18:45) - 11.9(06:30)	e.déionisée	~630	~9,1	1,95	0,09	15,7-13,0	(16,3)
	11.9.84(06:30-16:10)	e.déionisée	630	9,0	1,93	0,1	12,66	16,63
538,0	18.9.84(17:50) - 22.9(05:00)	e.déionisée	~200-400	~9,4	~1,5	~0,14	4,6-8,6-6,8	18,1-17,0
	22.9.84(05:00) - 24.9.84	e.déion.-sout.	400	n.d	n.d	n.d	<6,8	<17,0
	24.9.84 - 25.9(19:20)	e.déionisée	~700	~9,0	~2,0	~0,1	4,72	11,66
705,7	15.10.84(23:55) - 16.10(19:35)	e.déionisée	~500	~11,4	~2,7	2,0-2,2	~9,7	21,54-21,4
923,0	10.11.84(00:20) - 12.11(12:20)	e.déionisée	660-700	10,2-10,0	1,59-1,55	0,46-0,42	8,2-8,0	19,1-19,9
	12.11.84(12:20) - 22.11.84	e.déionisée	~700-~300	~10,5-9,5	1,75-1,2	0,7-0,1	~8,3-~7,4	18,6-20,5
	22.11.84 - 25.11.84	e.déion.-sout.	>300	n.d	n.d	n.d	<7,15	<19,5
1192,5	14.12.84(07:45) - 16.12(11:05)	e.déionisée	240-~300	~9,5	1-1,3	0,06-0,2	7,1-6,7	19,7-19,1
	16.12.84(11:05) - 23.12.84	e.déionisés	~300-~350	~9,4	1,3-1,9	0,2-0,1	~6,7-11-7,4	~19-28,8-22,3
	23.12.84 - 27.12(09:10)	e.déion.-sout.	>350	n.d	n.d	n.d	<7,4	<22,3
1643,4	11.2.85(01:00) - 13.2(17:20)	e.déionisée	~440	~9,5	2,6	0,3	~6,8	18,4-18,1
847,0	27.10.84(01:40) - 28.10(20:00)	e.déionisée	550-640	~10,9	1,75-1,89	0,8-0,9	8,1-7,6	20,6-19,8
	28.10.84(20:00) - 11.12.84	e.déion.-sout.	~870-300-700	10,5-9,3	1,8-1,2	0,7-0,01	8,3-5,1	~20-10
	11.12.84 - 16.2.85	e.déion.-sout.	160-440	10-9,1	1-2,6	0,05-0,8	8,2-6 12-6	20,6-19 28,8-18
	16.2.85 - 19.2.85	e.sout.-déion.	~800-140	8,9-9,5	2,8-0,8	0,14-0,05	5,7-7	12,5-19,2
	19.2.85 - 21.3(17:05)	e.déion.-sout.	>60	<10	n.d	n.d	<7,4	<17,3

FORAGE: Leuggern

FLUIDES DE PORAGE (HYDROCHIMIE, TRACEURS)/2

No Test	Période	Type de fluide	Conductibilité électrique (uS/cm)	pH	Demande d'acide		Traceurs	
					Alc. (mval/l)	p-Alc. (mval/l)	Uranine (ppm)	mTFMBA (ppm)
1203,2	14.12.84(10:35) - 17.12(10:35)	e.déionisée	240-300	~9,5	0,95-1,35	0,06-0,2	7,1-6,6	19,7-19,1
	17.12.84(10:35) - 16.2.85	e.déion.-sout.	300-440	9,1-9,5	1,3-2,6	0,05-0,8	6,6-6-12- 6	19-28,8-18
	16.2.85 - 19.2.85	e.sout.-déion.	~800-140	8,9-9,5	2,8-0,8	0,14-0,05	5,7-7	12,5-19,2
	19.2.85 - 28.3(15:55)	e.déion.-sout.	> 60	<10	n.d	n.d	< 7,4	<17,3
1665,5	11.2.85(06:25) - 19.2(02:00)	e.déionisée	790-140	8,9-9,5	2,8-0,8	0,14-0,05	5,7-7	12,5-19,2
	23.2.85 - 25.4(19:00)	e.déion.-sout.	> 140	n.d	n.d	n.d	< 7	<19,2
1433,4	16.1.85(11:00) - 18.1(17:35)	e.déionisée	400-450	~9,1	1,85-1,95	0,1-0,14	8,1-9,6	19,4-18,0
	18.1.85(17:35) - 16.2.85	e.déion.-sout.	360-440	9,1-9,5	1,3-2,6	0,05-0,8	9,6-6	22,6-18
	16.2.85 - 19.2.85	e.sout.-déion.	~800-140	8,9-9,5	2,8-0,8	0,14-0,05	5,7-7	12,5-19,2
	19.2.85 - 2.5(15:15)	e.déion.-sout.	> 60	< 10	n.d	n.d	< 7,4	<17,3

Légende:

Alc.: alcalinité

p-Alc.: p-alcalinité

mTFMBA: acide métatriméthylbenzoïque

e.: eau

déion.: déionisée

n.d.: non déterminé

FORAGE: Leuggern

TESTS HYDRAULIQUES

No Test	Intervalle (m)	Volume Intervalle (m ³)	Volume Tubage (m ³)	Volume Tube (m ³)	Transmissivité (m ² /e)	Perméabilité (m/e)
74,9	53,5-96,4	1,60	8,60	-	~ 3E-05	~ 1E-06
217,9	208,2-227,5	0,71	0,06	1,62	3,9E-07	2E-08
251,2	235,1-267,5	1,12	-	3,45	9,7E-06	3E-07
444,2	440,4-448,1	0,12	-	3,02	2,3E-07	3E-08
538,0	507,4-568,6	1,08	-	3,07	1,2E-05	2E-07
705,7	702,0-709,5	0,11	-	5,00	1,5E-06	2E-07
923,0	916,2-929,7	0,23	-	5,66	1,4E-08	1E-09
1192,5	1176,2-1208,8	0,46	-	3,54	6,5E-09	2E-10
1643,4	1637,4-1649,3	0,18	-	6,64	2,4E-05	2E-06
847,0	834,5-859,5	0,45	-	5,40	~ 2,5E-07	~ 1E-08
1203,2	1179,3-1227,2	0,73	-	3,55	~ 1,4E-08	~ 3E-10
1665,5	1642,2-1688,9	0,72	-	8,02	~ 5E-05	~ 1E-06
1433,4	1427,4-1439,4	0,18	-	4,30	~ 1,2E-09	~ 3E-10

Légende:

n.d.: non déterminé

A P P E N D I C E VII

Périodes d'échantillonnages

Données	AVII-1	Böttstein:	test à	400 m
	AVII-2	Böttstein:	test à	621 m
	AVII-3	Schafisheim:	test à	1571 m
	AVII-4	Schafisheim:	test à	1888 m
	AVII-5	Kaisten:	test à	114 m
	AVII-6	Kaisten:	test à	483 m
	AVII-7	Leuggern:	test à	75 m
	AVII-8a	Leuggern:	test à	923 m (échantillonneurs)
	AVII-8b	Leuggern:	test à	923 m (swabbing)
	AVII-9	Leuggern:	test à	1643 m

Böttstein 400 m

date	heure	durée (h)	rabat. (m)	volume (m3)	vol.c (m3)	Σvol.c (m3)	cond. (uS/cm)	uranine (g/l)	uran. (%)	Σuran. (g)	mTFMBA (g/l)	mTFMBA (%)	Σ mTFMBA (g)
13.12.82	21.35	.00	16.00	.00	.05	.05	0.	2.4000	96.00	.12	4.70	85.45	.23
	23.25	1.90	70.00	.00	.41	.46	0.	2.4000	96.00	1.10	.00	.00	.23
14.12.82	00.95	3.60	91.00	.00	.28	.74	983.	2.3000	92.00	1.76	4.90	89.09	3.55
	02.95	5.60	95.00	.00	.30	1.04	985.	2.2000	88.00	2.44	5.30	96.36	5.08
	04.75	7.40	96.00	.00	.31	1.35	1025.	2.2000	88.00	3.12	4.60	83.64	6.61
	05.75	9.40	100.00	.00	.31	1.66	1576.	1.8000	72.00	3.74	1.90	34.55	7.62
	09.10	11.75	77.00	.00	.25	1.91	1617.	.0380	1.52	3.97	.03	.58	7.86
	10.60	13.25	92.00	.00	.29	2.20	1611.	.0260	1.04	3.98	.05	.85	7.87
	12.70	15.35	74.00	.00	.24	2.44	1508.	.0200	.80	3.98	.04	.64	7.88
	15.00	17.65	.00	.00	.29	2.73	1596.	.0150	.60	3.99	.00	.00	7.88

Légende: rabat.: rabatement
 vol.c.: volume corrigé
 cond.: conductibilité électrique
 uran.: uranine

Böttstein 621 m

date	heure	durée (h)	rabat. (m)	volume (m3)	vol.c (m3)	Σvol.c (m3)	cond. (u5/cm)	uranine (g/l)	uran. (%)	Σuran. (g)	mTFMBA (g/l)	mTFMBA (%)	ΣmTFMBA (g)
20.01.83	06.50	.00	91.00	.00	.27	.57	861.	.6700	98.53	.38	11.40	99.13	6.50
	07.50	1.10	147.00	.00	.56	1.23	886.	.6400	94.12	.81	11.45	99.57	14.04
	09.00	2.50	150.00	.00	.35	1.58	886.	.6300	92.65	1.04	11.15	96.96	17.99
	10.35	3.85	132.00	.00	.40	1.96	1433.	.2400	35.29	1.21	3.90	33.91	21.00
	11.65	5.15	.00	.00	.03	2.01	1490.	.1700	25.00	1.22	3.10	26.96	21.11
	12.15	5.65	.00	.00	.08	2.09	1490.	.1600	23.53	1.23	2.90	25.22	21.35
	12.50	6.00	145.00	.00	.49	2.58	1492.	.1600	23.53	1.31	2.86	24.87	22.76
	13.85	7.35	113.00	.00	.34	2.92	1531.	.1400	20.59	1.36	2.40	20.87	23.65
	15.00	8.50	121.00	.00	.37	3.29	1549.	.1200	17.65	1.41	2.03	17.65	24.47
	16.50	10.00	131.00	.00	.39	3.68	1556.	.1200	17.65	1.45	1.82	15.83	25.22
	17.75	11.25	115.00	.00	.34	4.02	1586.	.0950	13.97	1.49	1.53	13.30	25.79
	21.25	14.75	.00	.00	.38	4.40	1582.	.0870	12.79	1.53	.00	.00	25.79
	23.00	16.50	.00	.00	.30	4.70	1587.	.0840	12.35	1.55	1.70	14.78	26.89
	21.01.83	00.35	17.85	.00	.00	.22	4.92	1618.	.0760	11.18	1.57	1.25	10.87
05.10		22.60	.00	.00	.80	5.72	1634.	.0640	9.41	1.62	1.01	8.78	28.12
08.00		25.50	.00	.00	.49	6.21	1640.	.0550	8.09	1.65	.84	7.30	28.57
11.00		28.50	.00	.00	.50	6.71	1651.	.0460	6.76	1.68	.00	.00	28.57
14.00		31.50	.00	.00	.51	7.22	1654.	.0410	6.03	1.70	.72	6.26	29.36
17.50		35.00	.00	.00	.58	7.80	1642.	.0370	5.44	1.72	.00	.00	29.36
21.00		38.50	.00	.00	.59	8.39	1672.	.0320	4.71	1.74	.43	3.74	30.03
22.00	39.50	.00	.00	.51	8.90	1579.	.0280	4.12	1.76	.00	.00	30.03	
22.01.83	05.50	47.00	.00	.00	.92	9.82	1665.	.0210	3.09	1.78	.40	3.48	30.63
	08.20	49.70	.00	.00	.45	10.27	1660.	.0180	2.65	1.79	.00	.00	30.63
	09.50	51.00	.00	.00	.22	10.49	1660.	.0180	2.65	1.79	.00	.00	30.63
	12.00	53.50	.00	.00	.42	10.91	1659.	.0170	2.50	1.80	.27	2.35	30.99
	13.25	54.75	.00	.00	.21	11.12	1658.	.0170	2.50	1.81	.00	.00	30.99
	16.65	58.15	.00	.00	.58	11.70	1634.	.0170	2.50	1.82	.31	2.70	31.22

Légende: rabat.: rabatement
vol.c: volume corrigé
cond.: conductibilité électrique
uran.: uranine

Schafisheim 1571 m

date	heure	durée (h)	rabat. (m)	volume (m3)	vol.c (m3)	Σvol.c (m3)	cond. (uS/cm)	uranine (g/l)	uran. (%)	Σuran. (g)	mIFMBA (g/l)	mIFMBA (%)	ΣmIFMBA (g)
29.04.84	17.50	.00	157.00	2.56	2.56	2.56	857.	8.5300	125.44	21.84	18.80	100.00	48.13
	19.00	1.50	.00	.00	.00	.00	0.	.0000	.00	21.84	.00	.00	48.13
30.04.84	00.30	7.40	395.00	2.16	2.16	4.72	6890.	4.5100	66.32	35.92	.00	.00	48.13
	01.50	8.00	195.00	1.62	1.62	6.34	7460.	3.7500	55.15	42.61	.00	.00	48.13
	02.00	8.50	195.00	2.70	2.70	9.04	9590.	3.0300	44.56	51.76	.00	.00	48.13
	02.50	9.00	195.00	1.08	1.08	10.12	8380.	2.4900	36.62	54.74	5.93	31.54	141.61
	03.00	9.50	195.00	.00	.00	10.12	8490.	2.4200	35.59	54.74	.00	.00	141.61
	03.50	10.00	235.00	5.87	5.87	15.99	8960.	1.9600	28.82	67.60	.00	.00	141.61
	04.00	10.50	235.00	3.32	3.32	19.31	9300.	1.8400	27.06	73.91	.00	.00	141.61
	04.50	11.00	255.00	4.59	4.59	23.90	9180.	1.4600	21.47	81.48	.00	.00	141.61
	05.00	11.50	255.00	3.32	3.32	27.22	9560.	1.2500	18.38	85.98	.00	.00	141.61
	11.85	18.35	88.00	.00	1.32	28.50	0.	.0000	.00	85.98	.00	.00	141.61
	12.00	18.50	4.00	.40	.37	28.87	10020.	1.0900	16.03	87.91	.00	.00	141.61
	12.50	19.00	11.00	1.46	1.00	29.87	10150.	1.0000	14.71	88.96	.00	.00	141.61
	13.00	19.50	14.00	.95	.93	30.80	10260.	.9600	14.12	89.87	.00	.00	141.61
	13.50	20.00	18.00	1.84	1.81	32.61	10320.	.9100	13.38	91.56	2.50	13.30	236.40
	14.00	20.50	19.00	2.75	2.74	35.35	10450.	.6900	10.15	93.75	.00	.00	236.40
	14.50	21.00	22.00	1.32	1.30	36.65	10450.	.8700	12.79	94.77	.00	.00	236.40
	15.00	21.50	23.00	1.30	1.29	37.94	10190.	.8100	11.91	95.85	.00	.00	236.40
	16.00	22.50	26.50	2.60	2.57	40.51	9840.	.6900	10.15	97.78	.00	.00	236.40
	17.00	23.50	29.70	2.60	2.58	43.09	10030.	.6300	9.26	99.48	.00	.00	236.40
	18.00	24.50	32.40	2.53	2.50	45.59	10320.	.5700	8.38	100.98	.00	.00	236.40
	19.00	25.50	35.50	2.53	2.51	48.10	10380.	.5200	7.65	102.35	.00	.00	236.40
	20.00	26.50	37.50	2.40	2.38	50.48	10370.	.5000	7.35	103.56	1.17	6.22	269.19
	21.00	27.50	39.50	2.40	2.39	52.87	10470.	.4600	6.76	104.71	.00	.00	269.19
	22.00	28.50	41.50	2.34	2.32	55.19	10430.	.4200	6.18	105.73	.00	.00	269.19
	23.00	29.50	43.00	2.32	2.31	57.50	10410.	.4100	6.03	106.69	.00	.00	269.19
01.05.84	00.00	30.50	44.50	2.33	2.31	59.81	10460.	.3500	5.15	107.57	.00	.00	269.19
	01.00	31.50	46.00	2.29	2.28	62.09	10440.	.3600	5.29	108.37	.00	.00	269.19
	02.00	32.50	47.50	2.25	2.23	64.32	10440.	.3200	4.71	109.13	.00	.00	269.19
	03.00	33.50	48.90	2.22	2.21	66.53	10500.	.3000	4.41	109.82	.93	4.95	286.05
	04.00	34.50	50.10	2.13	2.12	68.65	10470.	.2800	4.12	110.43	.00	.00	286.05
	05.00	35.50	51.40	2.42	2.42	71.07	10380.	.2700	3.97	111.10	.00	.00	286.05
	06.00	36.50	52.90	2.08	2.07	73.14	10330.	.2500	3.68	111.64	.00	.00	286.05
	07.00	37.50	53.70	2.10	2.09	75.23	10440.	.2400	3.53	112.15	.00	.00	286.05
	08.00	38.50	54.80	2.13	2.12	77.35	10380.	.2300	3.38	112.65	.00	.00	286.05
	09.00	39.50	55.80	2.18	2.18	79.53	10330.	.2200	3.24	113.14	.00	.00	286.05
	10.00	40.50	56.70	2.23	2.23	81.75	10390.	.2200	3.24	113.63	.00	.00	286.05
	11.00	41.50	57.70	2.13	2.12	83.87	10300.	.2100	3.09	114.08	.00	.00	286.05
	12.00	42.50	59.40	2.10	2.09	85.96	10260.	.2000	2.94	114.51	.00	.00	286.05
	13.00	43.50	59.40	2.13	2.13	88.09	10190.	.2000	2.94	114.94	.00	.00	286.05
	14.00	44.50	60.20	2.06	2.05	90.14	10230.	.2000	2.94	115.35	.00	.00	286.05
	15.00	45.50	61.10	2.03	2.02	92.16	10200.	.1900	2.65	115.73	.00	.00	286.05
	16.00	46.50	62.30	2.03	2.03	94.19	10230.	.1700	2.50	116.08	.55	2.93	306.52
	18.00	48.50	62.20	3.59	3.59	97.78	10130.	.1660	2.44	116.69	.00	.00	306.52
	19.00	49.50	61.80	1.56	1.56	99.34	10240.	.1500	2.21	116.93	.00	.00	306.52
	20.00	50.50	61.70	1.56	1.56	100.90	10090.	.1500	2.21	117.17	.00	.00	306.52
	21.00	51.50	61.60	1.56	1.56	102.46	10170.	.1600	2.35	117.41	.00	.00	306.52
	22.00	52.50	61.70	1.56	1.56	104.02	9980.	.1400	2.06	117.64	.00	.00	306.52
	23.00	53.50	61.40	1.56	1.56	105.58	9980.	.1300	1.91	117.85	.00	.00	306.52
02.05.84	00.00	54.50	61.70	1.56	1.56	107.14	9920.	.1240	1.82	118.05	.00	.00	306.52
	01.00	55.50	62.20	1.56	1.56	108.70	9920.	.1190	1.75	118.24	.00	.00	306.52
	02.00	56.50	63.00	1.53	1.53	110.22	9920.	.1330	1.96	118.43	.53	2.81	315.16
	02.75	57.25	63.50	1.15	1.15	111.37	9920.	.1180	1.74	118.58	.48	2.55	315.73

Légende: rabat.: rabatement
vol.c: volume corrigé
cond.: conductibilité électrique
uran.: uranine

Schafisheim 1888 m

date	heure	durée (h)	rabat. (m)	volume (m ³)	vol.c (m ³)	Σvol.c (m ³)	cond. (μS/cm)	uranine (g/l)	uran. (%)	Σ uran. (g)	mTFMBA (g/l)	mTFMBA (%)	ΣmTFMBA (g)
12.06.84	15.60	.00	50.00	.10	1.20	1.20	222.	10.9300	109.30	13.12	10.80	100.00	12.96
	19.00	3.40	.00	.00	.00	.00	0.	.0000	.00	13.12	.00	.00	12.96
13.06.84	12.50	20.90	295.00	4.80	1.90	3.10	216.	9.9200	99.20	32.92	.00	.00	12.96
	17.35	25.75	56.40	.00	1.60	4.70	0.	.0000	.00	32.92	.00	.00	12.96
	17.50	25.90	50.00	.50	.10	4.80	199.	9.8600	98.60	49.74	.00	.00	12.96
	18.50	26.90	68.00	2.77	2.63	7.43	221.	10.9100	109.10	77.05	.00	.00	12.96
	19.50	27.90	70.00	2.72	2.70	10.13	1160.	11.6700	116.70	107.53	.00	.00	12.96
	20.50	28.90	71.00	2.72	2.71	12.84	3090.	10.1600	101.60	137.11	.00	.00	12.96
	21.50	29.90	73.00	2.94	2.92	15.76	4350.	8.7500	87.50	164.72	7.39	68.43	145.38
	22.50	30.90	74.00	2.83	2.82	18.58	5470.	7.3400	73.40	187.41	.00	.00	145.38
	23.50	31.90	75.00	3.01	3.00	21.58	6410.	6.3000	63.00	207.87	.00	.00	145.38
14.06.84	00.50	32.90	76.00	2.83	2.82	24.40	7170.	5.4800	54.80	224.48	.00	.00	145.38
	01.50	33.90	77.00	2.83	2.82	27.22	7860.	4.3000	43.00	238.27	.00	.00	145.38
	02.50	34.90	78.00	2.79	2.78	30.00	8410.	3.6000	36.00	249.25	.00	.00	145.38
	03.50	35.90	79.00	2.79	2.78	32.78	8910.	2.9400	29.40	258.34	3.03	28.06	234.06
	04.50	36.90	79.00	2.79	2.79	35.57	9250.	2.3700	23.70	265.75	.00	.00	234.06
	05.50	37.90	80.00	2.72	2.71	38.28	9470.	2.1000	21.00	271.80	.00	.00	234.06
	06.50	38.90	80.00	3.03	3.03	41.31	9750.	1.7200	17.20	277.59	.00	.00	234.06
	08.00	40.40	81.00	3.90	3.89	45.20	9990.	1.4000	14.00	283.66	.00	.00	234.06
	09.00	41.40	82.00	2.50	2.49	47.69	10100.	1.3200	13.20	287.04	.00	.00	234.06
	10.00	42.40	82.00	2.46	2.46	50.15	10230.	1.2000	12.00	290.14	.00	.00	234.06
	11.00	43.40	83.00	2.43	2.42	52.57	10330.	1.1400	11.40	292.98	.00	.00	234.06
	12.00	44.40	83.00	2.43	2.43	55.00	10460.	1.0700	10.70	295.66	.00	.00	234.06
	13.00	45.40	84.00	2.37	2.36	57.36	10500.	.9200	9.20	298.01	.00	.00	234.06
	14.00	46.40	84.00	2.46	2.46	59.82	10630.	.9100	9.10	300.26	.00	.00	234.06
	15.00	47.40	84.00	2.41	2.41	62.23	10590.	.8400	8.40	302.37	.00	.00	234.06
	16.00	48.40	85.00	2.46	2.45	64.68	10520.	.7000	7.00	304.26	.00	.00	234.06
	17.00	49.40	85.00	2.37	2.37	67.05	10520.	.6700	6.70	305.88	.00	.00	234.06
	18.00	50.40	86.00	2.31	2.30	69.35	10730.	.6100	6.10	307.35	.00	.00	234.06
	19.00	51.40	86.00	2.29	2.29	71.64	10820.	.5800	5.80	308.71	.00	.00	234.06
	20.00	52.40	86.00	2.26	2.26	73.90	10840.	.5600	5.60	310.00	.00	.00	234.06
	21.00	53.40	87.00	2.24	2.23	76.13	10890.	.5200	5.20	311.21	.00	.00	234.06
	22.00	54.40	87.00	2.28	2.28	78.41	10770.	.5000	5.00	312.37	.00	.00	234.06
	23.00	55.40	87.00	2.31	2.31	80.72	10870.	.4600	4.60	313.48	.00	.00	234.06
15.06.84	00.00	56.40	88.00	2.24	2.23	82.95	10820.	.4400	4.40	314.48	.00	.00	234.06
	01.00	57.40	88.00	2.31	2.31	85.26	10900.	.4300	4.30	315.49	.00	.00	234.06
	02.00	58.40	87.00	2.31	2.32	87.58	10850.	.4200	4.20	316.47	.00	.00	234.06
	03.00	59.40	87.00	2.31	2.31	89.89	10850.	.3800	3.80	317.40	.00	.00	234.06
	04.00	60.40	88.00	2.31	2.30	92.19	10900.	.3800	3.80	318.27	.00	.00	234.06
	05.00	61.40	88.00	2.31	2.31	94.50	10930.	.3700	3.70	319.14	.00	.00	234.06
	06.00	62.40	87.00	2.40	2.41	96.91	10930.	.3300	3.30	319.98	.00	.00	234.06
	07.00	63.40	88.00	2.31	2.30	99.21	10930.	.3200	3.20	320.73	.00	.00	234.06
	08.00	64.40	90.00	2.43	2.41	101.62	10970.	.3100	3.10	321.49	.00	.00	234.06
	09.00	65.40	89.00	2.37	2.38	104.00	10930.	.2900	2.90	322.20	.00	.00	234.06
	10.00	66.40	89.00	2.31	2.31	106.31	10980.	.2930	2.93	322.87	.00	.00	234.06
	11.00	67.40	90.00	2.31	2.30	108.61	11040.	.2850	2.85	323.54	.00	.00	234.06
	12.00	68.40	90.00	2.28	2.28	110.89	11090.	.2730	2.73	324.18	.00	.00	234.06
	13.00	69.40	90.00	2.26	2.26	113.15	11020.	.2710	2.71	324.79	.00	.00	234.06
	14.00	70.40	91.00	2.26	2.25	115.40	11050.	.2610	2.61	325.39	.00	.00	234.06
	15.00	71.40	91.00	2.38	2.38	117.55	10970.	.2590	2.59	325.97	.00	.00	234.06
	16.00	72.40	91.00	2.40	2.40	120.05	10900.	.2460	2.46	326.58	.00	.00	234.06
	17.00	73.40	91.00	2.37	2.37	122.42	10850.	.2400	2.40	327.16	.00	.00	234.06
	18.00	74.40	91.00	2.35	2.35	124.77	10770.	.2390	2.39	327.72	.00	.00	234.06
	19.00	75.40	92.00	2.24	2.23	127.00	10850.	.2250	2.25	328.24	.00	.00	234.06
	20.00	76.40	92.00	2.28	2.28	129.28	10860.	.2320	2.32	328.76	.00	.00	234.06
	21.00	77.40	92.00	2.15	2.15	131.43	10820.	.1930	1.93	329.21	.00	.00	234.06
	22.00	78.40	92.00	2.20	2.20	133.63	10830.	.1890	1.85	329.63	.00	.00	234.06
	23.00	79.40	93.00	2.20	2.19	135.82	10780.	.1900	1.90	330.04	.00	.00	234.06

Légende: rabat.: rabatement
vol.c: volume corrigé
cond.: conductibilité électrique
uran.: uranine

Schafisheim 1888 m

date	heure	durée (h)	rabat. (m)	volumé (m3)	vol.c (m3)	Σvol.c (m3)	cond. (nS/cm)	uranine (g/l)	uran. (%)	Σuran: (g)	mTFMR (g/l)	mTFMR (%)	Σ mTFMR (g)
16.06.64	00.00	60.40	93.00	2.18	2.18	138.00	10790.	.1700	1.70	330.43	.00	.00	234.06
	01.00	61.40	93.00	2.26	2.26	140.26	10850.	.1800	1.80	330.83	.00	.00	234.06
	02.00	62.40	93.00	2.42	2.42	142.68	10820.	.1000	1.00	331.17	.00	.00	234.06
	03.00	63.40	93.00	2.38	2.38	145.06	10830.	.1600	1.60	331.48	.00	.00	234.06
	04.00	64.40	94.00	2.42	2.41	147.47	10760.	.1400	1.40	331.84	.00	.00	234.06
	05.00	65.40	94.00	2.31	2.31	149.78	10790.	.1400	1.40	332.16	.00	.00	234.06
	06.00	66.40	94.00	2.26	2.26	152.04	10740.	.1350	1.35	332.47	.00	.00	234.06
	07.00	67.40	94.00	2.37	2.37	154.41	10750.	.1350	1.36	332.79	.00	.00	234.06
	08.00	68.40	94.00	2.23	2.23	156.64	10880.	.0740	.74	333.03	.00	.00	234.06
	09.00	69.40	94.00	2.21	2.21	158.85	10880.	.1300	1.30	333.25	.00	.00	234.06
	10.00	90.40	95.00	2.18	2.17	161.02	0.	.1290	1.29	333.53	.00	.00	234.06
	11.00	91.40	95.00	2.15	2.15	163.17	0.	.1260	1.26	333.81	.00	.00	234.06
	12.00	92.40	54.00	.13	.46	163.63	0.	.1090	1.09	333.66	.00	.00	234.06
	23.57	103.97	28.00	.20	.00	163.83	0.	.0000	.00	333.86	.00	.00	234.06
17.06.64	00.50	104.90	24.00	1.97	1.78	165.61	12610.	.1350	1.35	334.10	.00	.00	234.06
	01.00	105.40	36.60	1.97	1.67	167.48	12550.	.1100	1.10	334.33	.00	.00	234.06
	02.00	106.40	39.60	1.99	1.97	169.45	12570.	.0790	.79	334.52	.00	.00	234.06
	03.00	107.40	40.00	2.02	2.02	171.47	10740.	.1100	1.10	334.71	.00	.00	234.06
	04.00	108.40	40.60	2.03	2.02	173.50	11000.	.1190	1.19	334.94	.00	.00	234.06
	05.00	109.40	43.20	2.06	2.00	175.50	10720.	.1160	1.16	335.18	.00	.00	234.06
	06.00	110.40	45.50	1.98	1.96	177.46	10620.	.1160	1.16	335.41	.00	.00	234.06
	07.00	111.40	45.50	2.08	2.08	179.54	10450.	.1230	1.23	335.65	.00	.00	234.06
	08.00	112.40	46.80	1.97	1.96	181.50	10460.	.1120	1.12	335.88	.00	.00	234.06
	09.00	113.40	47.90	2.00	1.99	183.49	10600.	.1100	1.10	336.10	.00	.00	234.06
	10.00	114.40	48.50	1.97	1.97	185.46	10400.	.1050	1.05	336.32	.00	.00	234.06
	11.00	115.40	49.00	1.96	1.95	187.41	10690.	.0920	.92	336.51	.00	.00	234.06
	12.00	116.40	49.60	1.91	1.91	189.32	10870.	.0900	.90	336.68	.15	1.40	483.03
	13.00	117.40	49.90	1.73	1.72	191.04	11110.	.0900	.90	336.84	.00	.00	483.03
	14.00	118.40	50.40	1.94	1.94	192.98	11140.	.0860	.86	337.01	.00	.00	483.03
	15.00	119.40	50.10	1.76	1.76	194.74	11170.	.0810	.81	337.16	.00	.00	483.03
	16.00	120.40	47.80	1.76	1.78	196.52	11220.	.0810	.81	337.30	.00	.00	483.03
	17.00	121.40	47.90	1.82	1.82	198.34	11220.	.0760	.76	337.44	.00	.00	483.03
	18.00	122.40	48.10	1.75	1.75	200.09	11440.	.0910	.91	337.59	.00	.00	483.03
	19.00	123.40	48.40	1.85	1.85	201.94	11610.	.0780	.78	337.74	.13	1.19	484.80
	20.00	124.40	48.60	1.83	1.83	203.77	11710.	.0750	.75	337.88	.00	.00	484.80
	21.00	125.40	48.70	1.83	1.82	205.59	11810.	.0750	.75	338.02	.00	.00	484.80
	22.00	126.40	48.90	1.83	1.83	207.42	12000.	.0740	.74	338.16	.00	.00	484.80
	23.00	127.40	48.30	1.85	1.84	209.26	12000.	.0700	.70	338.29	.12	1.12	485.72

Légende: rabat.: rabatement
vol.c: volume corrigé
cond.: conductibilité électrique
uran.: uranine

Kaisten 114 m

date	heure	durée (h)	rabat. (m)	volume (m3)	vol.c (m3)	Σvol.c (m3)	cond. (uS/cm)	uranine (g/l)	uran. (%)	Σuran. (g)	mTFM8A (g/l)	nTFM8A (%)	ΣmTFM8A (g)
21.02.84	14.25	.00	2.70	.12	.10	1.30	3117.	4.9700	85.40	6.46	17.46	85.00	22.70
	14.75	.50	18.60	.84	.71	2.01	3519.	5.2900	90.89	10.10	.00	.00	22.70
	15.00	.75	26.70	.36	.30	2.31	4313.	4.6600	80.07	11.60	17.21	83.79	40.21
	16.00	1.75	32.00	1.44	1.40	3.71	6770.	2.7000	46.39	16.75	.00	.00	40.21
	17.00	2.75	35.00	1.44	1.42	5.13	7720.	1.9200	32.99	20.03	7.65	37.24	75.26
	18.00	3.75	37.00	1.44	1.42	6.55	8190.	1.5300	26.29	22.48	.00	.00	75.26
	19.00	4.75	39.00	1.44	1.42	7.97	8760.	.9700	16.67	24.25	.00	.00	75.26
	20.00	5.75	40.00	1.44	1.43	9.40	9180.	.6400	11.00	25.40	.00	.00	75.26
	21.00	6.75	37.10	1.20	1.22	10.62	9730.	.5000	8.59	25.10	.00	.00	75.26
	22.00	7.75	37.20	1.20	1.20	11.82	10000.	.5000	8.59	26.70	1.86	9.06	107.07
	23.00	8.75	37.60	1.20	1.20	13.02	10200.	.4200	7.22	27.25	.00	.00	107.07
22.02.84	00.00	9.75	38.10	1.20	1.19	14.21	10300.	.3500	6.01	27.71	.00	.00	107.07
	01.00	10.75	38.10	1.20	1.19	15.40	10400.	.2800	4.81	28.08	.00	.00	107.07
	02.00	11.75	39.90	1.20	1.18	16.58	10400.	.2800	4.81	28.41	.00	.00	107.07
	03.00	12.75	40.20	1.08	1.08	17.66	10180.	.2300	3.95	28.69	.00	.00	107.07
	04.00	13.75	40.40	1.08	1.08	18.74	10180.	.1700	2.92	28.91	.00	.00	107.07
	05.00	14.75	40.40	1.08	1.08	19.82	10290.	.1500	2.58	29.08	.00	.00	107.07
	06.00	15.75	39.40	1.08	1.08	20.90	10400.	.1300	2.23	29.23	.00	.00	107.07
	07.00	16.75	39.30	1.08	1.08	21.98	10400.	.1200	2.06	29.36	.00	.00	107.07
	08.00	17.75	39.40	1.08	1.08	23.06	10300.	.0960	1.65	29.48	.00	.00	107.07
	09.00	18.75	39.70	2.04	2.04	25.10	10340.	.0890	1.53	29.67	.00	.00	107.07
	10.00	19.75	39.80	1.02	1.02	26.12	10320.	.0810	1.39	29.76	.00	.00	107.07
	11.00	20.75	40.00	1.02	1.02	27.14	10380.	.0740	1.27	29.84	.00	.00	107.07
	12.00	21.75	39.90	1.02	1.02	28.26	10380.	.0680	1.17	29.92	.00	.00	107.07
	13.00	22.75	39.20	1.02	1.02	29.28	10380.	.0650	1.12	29.98	.19	.94	124.99
	14.00	23.75	39.90	.99	.99	30.27	10410.	.0600	1.03	30.05	.00	.00	124.99
	15.00	24.75	39.90	.99	.99	31.29	10420.	.0560	.96	30.10	.00	.00	124.99
	16.00	25.75	39.70	.75	.75	32.04	10450.	.0550	.95	30.15	.00	.00	124.99
	17.00	26.75	40.60	.75	.75	32.79	10450.	.0490	.84	30.18	.15	.72	125.59
	18.00	27.75	38.30	.92	.92	33.71	10450.	.0490	.84	30.23	.00	.00	125.59
	19.00	28.75	38.30	.90	.90	34.61	10450.	.0460	.79	30.27	.00	.00	125.59
	20.00	29.75	38.50	.87	.87	35.48	10420.	.0460	.79	30.31	.00	.00	125.59
	21.00	30.75	38.60	.87	.87	36.35	10420.	.0420	.72	30.35	.11	.56	126.05
	22.00	31.75	38.70	.90	.90	37.25	10420.	.0410	.70	30.39	.00	.00	126.05
23.02.84	00.00	32.75	38.60	.90	.90	38.10	10420.	.0380	.65	30.42	.00	.00	126.05
	01.00	33.75	38.80	.90	.90	39.00	10300.	.0380	.65	30.46	.00	.00	126.05
	02.00	34.75	38.90	.80	.80	39.80	10420.	.0380	.65	30.49	.09	.45	126.41
	03.00	35.75	39.20	.85	.85	40.65	10300.	.0340	.58	30.52	.00	.00	126.41
	04.00	36.75	39.10	.85	.85	41.50	10300.	.0320	.55	30.55	.00	.00	126.41
	05.00	37.75	39.30	.75	.75	42.25	10300.	.0310	.53	30.57	.00	.00	126.41
	06.00	38.75	39.20	.75	.75	43.00	10300.	.0310	.53	30.59	.08	.38	126.68
	07.00	39.75	39.20	.90	.90	43.90	10300.	.0300	.52	30.62	.00	.00	126.68
	08.00	40.75	39.30	.80	.80	44.70	10300.	.0290	.50	30.64	.00	.00	126.68
	09.00	41.75	39.30	.90	.90	45.60	11540.	.0280	.48	30.67	.00	.00	126.68
	10.00	42.75	39.40	.86	.86	46.46	11530.	.0260	.45	30.69	.06	.31	126.93
	11.00	43.75	39.40	.85	.85	47.31	11540.	.0250	.43	30.71	.00	.00	126.93
	12.00	44.75	39.80	.98	.98	48.29	11460.	.0240	.41	30.74	.00	.00	126.93
	13.00	45.75	39.90	.86	.86	49.15	11520.	.0230	.40	30.76	.00	.00	126.93
	14.00	46.75	40.00	.87	.87	50.02	11500.	.0230	.40	30.78	.06	.30	127.15
	15.00	47.75	40.00	.87	.87	50.89	11530.	.0220	.38	30.80	.00	.00	127.15

Légende: rabat.: rabatement
vol.c: volume corrigé
cond.: conductibilité électrique
uran.: uranine

KAISTEN 483 m

date	heure	durée (h)	rabat. (m)	volume (m ³)	vol.c (m ³)	Σ vol.c (m ³)	cond. (uS/cm)	uranine (g/l)	uran. (%)	Σuran. (g)	mTFMBA (g/l)	mTFMBA (%)	Σ mTFMBA (g)
02.04.84	10.40	.00	200.00	1.70	1.70	1.70	82.	9.4000	100.00	15.98	17.59	102.27	29.90
	11.50	1.10	200.00	.20	.20	1.90	1442.	3.6300	38.62	17.28	6.88	40.00	32.35
	13.00	2.60	200.00	.30	.30	2.20	1677.	1.9800	21.06	18.12	3.86	22.44	33.96
	13.50	3.10	200.00	.10	.10	2.30	1748.	1.6300	17.34	18.30	.00	.00	33.96
	14.00	3.60	200.00	.10	.10	2.40	1788.	1.3600	14.47	18.45	.00	.00	33.96
	15.00	4.60	200.00	.20	.20	2.60	1837.	1.0100	10.74	18.69	2.08	12.09	35.15
	15.50	5.10	200.00	.10	.10	2.70	1863.	.8300	8.83	18.78	.00	.00	35.15
	16.00	5.60	200.00	.10	.10	2.80	1822.	.7400	7.87	18.86	.00	.00	35.15
	16.50	6.10	200.00	.10	.10	2.90	1892.	.6700	7.13	18.93	1.16	6.74	35.64
	17.00	6.60	200.00	.10	.10	3.00	1905.	.5900	6.28	19.00	.00	.00	35.64
	19.40	9.00	.00	.00	1.70	4.70	0.	.0000	.00	19.00	.00	.00	35.64
	20.00	9.60	100.00	1.50	.66	5.36	1947.	.4600	4.89	20.23	.86	5.02	38.12
	21.00	10.60	100.00	2.40	2.40	7.76	1958.	.4400	4.68	21.31	.00	.00	38.12
	22.00	11.60	100.00	2.37	2.37	10.13	1961.	.3700	3.94	22.27	.00	.00	38.12
	23.00	12.60	100.00	2.37	2.37	12.50	1958.	.4400	4.68	23.23	.00	.00	38.12
03.04.84	00.00	13.60	100.00	2.37	2.37	14.87	1981.	.2800	2.98	24.09	.00	.00	38.12
	01.00	14.60	100.00	2.37	2.37	17.24	1985.	.2500	2.66	24.72	.00	.00	38.12
	02.00	15.60	100.00	2.37	2.37	19.61	1991.	.2300	2.45	25.28	.43	2.50	47.34
	03.00	16.60	100.00	2.37	2.37	21.98	1992.	.2100	2.23	25.81	.00	.00	47.34
	04.00	17.60	100.00	2.37	2.37	24.35	1997.	.1900	2.02	26.28	.00	.00	47.34
	05.00	18.60	100.00	2.37	2.37	26.72	1996.	.1800	1.91	26.72	.33	1.92	50.05
	06.00	19.60	100.00	2.37	2.37	29.09	2005.	.1600	1.70	27.12	.00	.00	50.05
	06.85	20.45	100.00	1.98	1.98	31.07	2005.	.1500	1.60	27.43	.00	.00	50.05
	08.00	21.60	100.00	2.77	2.77	33.84	2008.	.1400	1.49	27.83	.19	1.12	51.90
	09.00	22.60	100.00	2.37	2.37	36.21	2006.	.1200	1.28	28.14	.00	.00	51.90
	10.00	23.60	100.00	2.37	2.37	38.58	2006.	.1170	1.24	28.42	.00	.00	51.90
	11.00	24.60	100.00	2.37	2.37	40.95	2012.	.1040	1.11	28.68	.17	.96	53.17
	12.00	25.60	100.00	2.37	2.37	43.32	2024.	.1010	1.07	28.92	.16	.94	53.56
	13.00	26.60	100.00	2.37	2.37	45.69	2023.	.0930	.99	29.15	.15	.85	53.93
	14.00	27.60	100.00	2.37	2.37	48.06	2023.	.0870	.93	29.37	.00	.00	53.93
	15.00	28.60	100.00	2.40	2.40	50.46	2090.	.0850	.90	29.57	.14	.80	54.60
	16.00	29.60	100.00	2.43	2.43	52.89	2023.	.0790	.84	29.77	.00	.00	54.60
	17.00	30.60	100.00	2.40	2.40	55.29	2032.	.0760	.81	29.96	.12	.69	55.22
	18.00	31.60	100.00	2.40	2.40	57.69	2025.	.0720	.77	30.14	.00	.00	55.22
	19.00	32.60	100.00	2.40	2.40	60.09	2021.	.0700	.74	30.31	.00	.00	55.22
	20.00	33.60	100.00	2.40	2.40	62.49	2024.	.0660	.70	30.47	.10	.58	56.01
	21.00	34.60	100.00	2.40	2.40	64.89	2024.	.0600	.64	30.62	.00	.00	56.01
	22.00	35.60	100.00	2.40	2.40	67.29	2030.	.0600	.64	30.76	.10	.58	56.49

Légende: rabat.: rabatement
vol.c: volume corrigé
cond.: conductibilité électrique
uran.: uranine

Leuggern 75 m

date	heure	durée (h)	rabat. (s)	volume (m3)	vol.c (m3)	Σvol.c (m3)	cond. (uS/cm)	uranine (g/l)	uran. (g)	Σuran. (g)	*TFMBA (g/l)	*TFMBA (g)	Σ*TFMBA (g)
13.07.85	08.30	.00	1.20	.00	.00	2.86	408.	.0000 *****	.00	23.17	97.76	66.27	
	10.00	1.70	14.10	2.44	.93	3.80	399.	.0000 *****	.00	22.46	94.77	87.71	
	12.00	3.70	22.60	2.61	2.30	6.09	803.	.0000 *****	.00	15.09	63.67	130.71	
	14.00	5.70	22.60	1.66	1.66	7.75	988.	.0000 *****	.00	11.21	47.30	152.54	
	16.00	7.70	21.60	1.66	1.70	9.45	1136.	.0000 *****	.00	9.01	38.02	169.72	
	18.00	9.70	20.70	1.66	1.69	11.14	1182.	.0000 *****	.00	7.58	31.98	183.74	
	20.00	11.70	20.60	1.66	1.66	12.80	1224.	.0000 *****	.00	6.51	27.47	195.44	
	22.00	13.70	19.80	1.66	1.69	14.49	1292.	.0000 *****	.00	5.57	23.50	205.64	
	23.55	15.25	19.70	1.66	1.67	16.16	1266.	.0000 *****	.00	5.15	21.73	214.50	
14.07.85	16.10	31.80	.00	.00	.67	16.83	0.	.0000 *****	.00	.00	.00	214.60	
	16.15	31.85	1.10	.16	.10	16.93	1278.	.0000 *****	.00	5.04	21.27	218.52	
	18.00	33.70	6.40	2.92	2.51	19.44	1247.	.0000 *****	.00	4.58	19.32	230.59	
	20.00	35.70	10.30	1.71	1.55	20.99	1317.	.0000 *****	.00	3.73	15.74	237.03	
	22.00	37.70	10.90	1.64	1.64	22.63	1366.	.0000 *****	.00	3.32	14.01	242.81	
15.07.85	00.00	39.70	10.70	1.61	1.61	24.24	1380.	.0000 *****	.00	2.84	11.98	247.77	
	02.00	41.70	10.80	1.62	1.62	25.86	1385.	.0000 *****	.00	2.38	10.04	252.00	
	04.00	43.70	10.40	1.60	1.61	27.47	1396.	.0000 *****	.00	2.30	9.70	255.77	
	06.00	45.70	10.00	1.55	1.56	29.03	1410.	.0000 *****	.00	1.96	8.27	259.09	
	08.00	47.70	9.90	1.48	1.48	30.51	1398.	.0000 *****	.00	2.27	9.58	262.22	
	10.00	49.70	9.60	1.48	1.49	32.00	1408.	.0000 *****	.00	2.04	8.61	265.43	
	12.00	51.70	9.60	1.49	1.49	33.49	1420.	.0000 *****	.00	2.03	8.57	268.46	
	14.00	53.70	9.60	1.48	1.48	34.97	1423.	.0000 *****	.00	1.94	8.19	271.40	
	16.00	55.70	9.60	1.46	1.46	36.43	1401.	.0000 *****	.00	1.83	7.72	274.15	
	18.00	57.70	9.50	1.48	1.48	37.91	1434.	.0000 *****	.00	1.67	7.05	276.74	
	20.00	59.70	9.50	1.48	1.48	39.39	1436.	.0000 *****	.00	1.64	6.92	279.19	
	22.00	61.70	9.50	1.49	1.49	40.88	1409.	.0000 *****	.00	1.53	6.46	281.55	
16.07.85	00.00	63.70	9.40	1.46	1.46	42.34	1405.	.0000 *****	.00	1.47	6.20	283.74	
	02.00	65.70	9.40	1.49	1.49	43.83	1402.	.0000 *****	.00	1.44	6.08	285.91	
	04.00	67.70	9.40	1.46	1.46	45.29	1365.	.0000 *****	.00	1.38	5.82	287.97	
	06.00	69.70	9.40	1.48	1.48	46.77	1359.	.0000 *****	.00	1.35	5.70	289.99	
	08.00	71.70	12.30	1.69	1.58	48.35	1295.	.0000 *****	.00	1.49	6.29	292.23	
	10.00	73.70	11.90	1.72	1.73	50.08	1356.	.0000 *****	.00	1.38	5.82	294.72	
	12.00	75.70	13.60	1.87	1.81	51.89	1336.	.0000 *****	.00	1.49	6.29	297.31	
	14.00	77.70	12.50	1.76	1.80	53.69	1369.	.0000 *****	.00	1.23	5.19	299.76	
	16.00	79.70	12.40	1.74	1.74	55.43	1346.	.0000 *****	.00	1.12	4.73	301.81	
	18.00	81.70	16.00	2.22	2.09	57.52	1323.	.0000 *****	.00	1.20	5.06	304.23	
	20.00	83.70	17.50	2.29	2.23	59.75	1370.	.0000 *****	.00	1.19	5.02	306.90	
	22.00	85.70	18.40	2.34	2.31	62.06	1374.	.0000 *****	.00	.99	4.18	309.41	
17.07.85	00.00	87.70	17.30	2.36	2.40	64.46	1377.	.0000 *****	.00	.74	3.12	311.49	
	02.00	89.70	17.00	2.33	2.34	66.80	1372.	.0000 *****	.00	.69	2.91	313.16	
	04.00	91.70	17.00	2.32	2.32	63.12	1370.	.0000 *****	.00	.69	2.91	310.62	
	06.00	93.70	17.00	2.29	2.29	71.41	1363.	.0000 *****	.00	.72	3.04	316.47	
	08.00	95.70	17.80	2.40	2.38	73.79	1313.	.0000 *****	.00	.71	3.00	318.17	
	10.00	97.70	17.90	2.36	2.36	76.15	1301.	.0000 *****	.00	.65	2.74	319.77	
	12.00	99.70	17.80	2.40	2.40	78.55	1288.	.0000 *****	.00	.61	2.57	321.29	
	14.00	101.70	17.50	2.40	2.41	80.96	1299.	.0000 *****	.00	.56	2.36	322.70	
	16.00	103.70	17.40	2.35	2.35	83.31	1290.	.0000 *****	.00	.55	2.32	324.00	
	18.00	105.70	17.30	2.40	2.40	85.71	1315.	.0000 *****	.00	.53	2.24	325.30	
	22.00	109.70	17.00	5.22	5.23	90.94	1295.	.0000 *****	.00	.50	2.11	327.99	
18.07.85	00.00	111.70	17.00	2.36	2.36	93.30	1276.	.0000 *****	.00	.49	2.07	329.16	
	02.00	113.70	16.70	2.27	2.28	95.58	1329.	.0000 *****	.00	.46	1.94	330.24	
	04.00	115.70	16.70	2.27	2.27	97.85	1293.	.0000 *****	.00	.49	2.07	331.32	
	06.00	117.70	16.60	2.30	2.30	100.15	1273.	.0000 *****	.00	.46	1.94	332.41	
	08.00	119.70	16.80	2.34	2.34	102.49	1268.	.0000 *****	.00	.45	1.90	333.48	
	10.00	121.70	16.70	2.19	2.19	104.68	1258.	.0000 *****	.00	.43	1.81	334.44	
	12.00	123.70	16.20	2.28	2.30	106.98	1249.	.0000 *****	.00	.36	1.52	335.35	
	14.00	125.70	17.00	2.38	2.40	109.38	1258.	.0000 *****	.00	.46	1.94	336.33	
	15.00	126.70	16.70	.84	.85	110.23	1267.	.0000 *****	.00	.39	1.65	336.69	

Légende: rabat.: rabatement
 vol.c.: volume corrigé
 cond.: conductibilité électrique
 uran.: uranine

Leuggern 923.1 m

date	heure	durée (h)	rabat. (m)	volume (m3)	vol.c (m3)	Σvol.c (m3)	cond. (u5/cm)	uranine (g/l)	uran. (%)	Σ uran. (g)	mTFMBA (g/l)	mTFMBA (%)	Σ mTFMBA (g)
25.11.84	09.50	.00	190.00	.00	1.91	1.91	289.	6.9200	96.78	13.22	19.89	102.00	37.99
	10.85	1.35	273.00	.00	.87	2.78	295.	6.7800	94.83	19.18	.00	.00	37.99
	12.00	2.50	349.00	.00	.80	3.58	300.	7.0100	98.04	24.69	.00	.00	37.99
	13.00	3.50	382.00	.00	.37	3.95	305.	6.9200	96.78	27.27	.00	.00	37.99
	16.50	7.00	418.00	.00	.47	4.42	302.	7.2000	100.70	30.59	.00	.00	37.99
	17.15	7.65	795.00	.00	1.72	6.14	264.	7.3200	102.38	43.08	19.89	102.00	122.12
	20.10	10.60	885.00	.00	.42	6.56	2882.	4.4200	61.82	45.54	11.84	60.72	128.79
25.11.84	08.00	22.50	885.00	.00	.29	6.85	4440.	1.6100	22.52	46.41	5.83	29.90	131.35
	20.00	34.50	885.00	.00	.23	7.08	4684.	1.4500	20.28	46.77	4.41	22.62	132.53
20.77.84	08.00	46.50	885.00	.00	.22	7.30	4846.	1.1100	15.52	47.05	3.77	19.33	133.43
	20.00	58.50	885.00	.00	.22	7.52	4905.	1.0000	13.99	47.28	2.96	15.18	134.17
28.11.84	08.05	70.55	885.00	.00	.22	7.74	4920.	1.1300	15.80	47.51	3.22	16.51	134.85
	11.50	74.00	885.00	.00	.04	7.78	5230.	.7900	11.05	47.55	2.24	11.49	134.96
	12.70	75.20	885.00	.00	.01	7.79	5120.	.7900	11.05	47.56	2.11	10.82	134.98
	14.15	76.65	885.00	.00	.02	7.81	5200.	.8600	12.03	47.58	2.12	10.87	135.02
	16.30	78.80	885.00	.00	.03	7.84	5230.	.7500	10.49	47.60	2.10	10.77	135.08
	20.00	82.50	885.00	.00	.08	7.92	5190.	.8200	11.47	47.66	2.36	12.10	135.26
29.11.84	08.00	94.50	885.00	.00	.23	8.15	5148.	.6500	9.09	47.83	2.10	10.77	135.78
	20.00	106.50	885.00	.00	.29	8.44	5178.	.6500	9.09	48.02	1.80	9.23	136.34
30.11.84	08.00	118.50	885.00	.00	.24	8.68	5297.	.5550	7.76	48.17	1.61	8.26	136.75
	09.75	120.25	885.00	.00	.04	8.72	5239.	.5130	7.17	48.19	1.48	7.59	136.81
	11.10	121.60	885.00	.00	.02	8.74	5455.	.5140	7.19	48.20	1.43	7.33	136.84
	12.70	123.20	885.00	.00	.02	8.76	5297.	.5270	7.37	48.21	1.43	7.33	136.87
	13.75	124.25	885.00	.00	.01	8.77	5365.	.5210	7.29	48.21	1.44	7.38	136.88
	14.75	125.25	885.00	.00	.02	8.79	5445.	.5070	7.09	48.22	1.42	7.28	136.91
01.12.84	08.00	142.50	885.00	.00	.21	9.00	5390.	.5400	7.55	48.33	1.47	7.54	137.22
	23.00	157.50	.00	.00	.00	.00	0.	.0000	.00	48.33	.00	.00	137.22
02.12.84	08.00	166.50	885.00	.00	.41	9.41	5510.	.4100	5.73	48.53	1.10	5.64	137.74
	23.00	181.50	.00	.00	.00	.00	0.	.0000	.00	48.53	.00	.00	137.74
03.12.84	08.00	190.50	885.00	.00	.38	9.79	5490.	.3800	5.31	48.68	1.08	5.54	138.16
	23.00	205.50	.00	.00	.00	.00	0.	.0000	.00	48.68	.00	.00	138.16
04.12.84	12.75	219.25	885.00	.00	.37	10.16	5480.	.3580	5.01	48.82	1.02	5.23	138.55
	23.00	229.50	.00	.00	.00	.00	0.	.0000	.00	48.82	.00	.00	138.55
06.12.84	08.50	239.00	880.00	.00	.59	10.75	5460.	.3100	4.34	49.01	.88	4.52	139.11
	23.00	253.50	.00	.00	.00	.00	0.	.0000	.00	49.01	.00	.00	139.11
07.12.84	08.00	262.50	880.00	.00	.40	11.15	5520.	.2550	3.57	49.13	.84	4.29	139.45
	10.00	264.50	880.00	.00	.04	11.19	5480.	.2630	3.68	49.14	.78	4.02	139.48
	11.35	265.85	880.00	.00	.02	11.21	5560.	.2530	3.54	49.14	.81	4.16	139.50
	12.60	267.10	880.00	.00	.02	11.23	5490.	.2440	3.41	49.15	.75	3.83	139.51
	13.55	268.05	880.00	.00	.02	11.25	5580.	.2500	3.50	49.15	.77	3.93	139.53

Légende: rabat.: rabatement
vol.c.: volume corrigé
cond.: conductibilité électrique
uran.: uranine

Leuggern 923.2 m

date	heure	durée (h)	rabat. (m)	volume (m3)	vol.c (m3)	Σvol.c (m3)	cond. (u5/cm)	uranine (g/l)	uran. (%)	Σuran. (g)	mTFMBA (g/l)	mTFMBA (%)	ΣmTFMBA (g)
25.11.84	09.50	.00	190.00	.00	1.91	1.91	289.	6.9200	96.78	13.22	19.00	97.44	36.29
	10.85	1.35	273.00	.00	.87	2.78	295.	6.7800	94.83	19.18	.00	.00	36.29
	12.00	2.50	349.00	.00	.80	3.58	300.	7.0100	98.04	24.69	.00	.00	36.29
	13.00	3.50	382.00	.00	.37	3.95	305.	6.9200	96.78	27.27	.00	.00	36.29
	16.50	7.00	418.00	.00	.47	4.42	302.	7.2000	100.70	30.59	.00	.00	36.29
	22.00	12.50	395.00	.00	.01	4.43	350.	5.0200	70.21	30.65	15.00	76.92	79.13
26.11.84	04.00	18.50	415.00	.00	.21	4.64	309.	7.1600	100.14	31.93	18.55	95.13	82.65
	10.00	24.50	400.00	.00	.07	4.71	300.	6.0600	84.76	32.39	17.01	87.23	83.90
	16.00	30.50	404.00	.00	.17	4.88	288.	7.3200	102.38	33.53	18.89	96.87	86.95
	22.00	36.50	401.00	.00	.09	4.97	298.	6.5800	92.03	34.15	18.10	92.82	88.61
27.11.84	04.00	42.50	390.00	.00	.00	4.97	289.	5.3900	75.38	34.15	15.41	79.03	88.61
	10.00	48.50	400.00	.00	.19	5.16	336.	6.8100	95.24	35.31	18.50	94.87	91.83
	16.00	54.50	395.00	.00	.08	5.24	468.	6.5500	91.61	35.85	17.93	91.95	93.29
	22.00	60.50	296.00	.00	.10	5.34	323.	6.3000	88.11	36.49	17.94	92.00	95.09
28.11.84	04.00	66.50	389.00	.00	.05	5.39	302.	5.7700	80.70	36.79	17.06	87.49	95.96
	09.00	71.50	383.00	.00	.01	5.40	332.	4.8800	68.25	36.84	15.67	80.36	95.12
	17.00	79.50	408.00	.00	.36	5.76	411.	7.6000	106.29	39.09	20.49	105.08	102.63
29.11.84	04.00	90.50	401.00	.00	.13	5.89	1265.	6.9900	97.76	40.04	17.40	89.23	105.10
	10.00	96.50	393.00	.00	.06	5.95	1355.	5.0300	70.35	40.40	13.31	68.26	106.02
	16.00	102.50	305.00	.00	.17	6.12	1697.	5.4200	75.80	41.29	13.38	68.62	108.29
	22.00	108.50	393.00	.00	.12	6.24	1963.	4.1200	57.62	41.86	11.05	56.67	109.75
30.11.84	04.00	114.50	390.00	.00	.09	6.33	2284.	3.8400	53.71	42.22	10.36	53.13	110.72
	08.50	119.00	388.00	.00	.08	6.41	2750.	3.4100	47.69	42.51	9.41	48.26	111.51
	16.00	126.50	387.00	.00	.12	6.53	3576.	2.8730	40.18	42.89	8.25	42.31	112.57
	22.00	132.50	381.00	.00	.03	6.56	3450.	2.5200	35.24	42.97	7.73	39.64	112.81
01.12.84	04.00	138.50	401.00	.00	.20	6.76	4670.	2.7000	37.76	43.49	5.84	29.95	114.16
	10.00	144.50	407.00	.00	.16	6.92	4590.	2.0000	27.97	43.86	4.92	25.23	115.02
	16.00	150.50	407.00	.00	.12	7.04	4670.	1.9300	26.99	44.10	4.43	22.72	115.58
	22.00	156.50	407.00	.00	.03	7.15	4380.	1.9300	26.99	44.31	4.61	23.64	116.08
02.12.84	04.00	162.50	407.00	.00	.10	7.25	4720.	1.6400	22.94	44.49	3.66	18.77	116.49
	10.00	168.50	407.00	.00	.09	7.34	4760.	1.5300	21.40	44.63	3.74	19.18	116.83
	16.00	174.50	407.00	.00	.08	7.42	4980.	1.2900	18.04	44.75	3.11	15.95	117.10
	22.00	180.50	406.00	.00	.09	7.51	4650.	1.3300	18.60	44.86	3.36	17.23	117.39
03.12.84	04.00	186.50	407.00	.00	.12	7.63	5170.	1.1700	15.36	45.01	2.61	13.38	117.75
	10.00	192.50	407.00	.00	.09	7.72	4790.	1.1700	16.36	45.12	3.03	15.54	118.00
04.12.84	12.50	195.00	398.00	.00	.24	7.96	4780.	1.2300	17.20	45.41	2.82	14.46	118.71
	16.00	198.50	407.00	.00	.16	8.12	5340.	.7890	11.03	45.57	1.93	9.90	119.09
	19.00	201.50	406.00	.00	.04	8.16	5270.	.7300	10.21	45.60	1.86	9.54	119.16
	22.00	204.50	406.50	.00	.03	8.19	5100.	.7800	10.91	45.62	2.05	10.51	119.22
05.12.84	01.00	207.50	406.00	.00	.05	8.24	4590.	.9700	13.57	45.67	2.57	13.18	119.34
	12.35	218.85	404.00	.00	.15	8.39	5290.	.6700	9.37	45.79	1.76	9.03	119.66
06.12.84	00.00	230.50	407.00	.00	.20	8.59	5090.	.6600	9.23	45.92	2.08	10.67	120.05
	10.10	240.60	407.00	.00	.12	8.71	5350.	.6300	8.81	46.00	1.73	8.87	120.27
	13.10	243.60	406.00	.00	.05	8.76	4610.	.8500	11.89	46.04	2.43	12.46	120.38
	16.25	246.75	406.00	.00	.05	8.81	4640.	.8700	12.17	46.08	2.29	11.74	120.50
	19.00	249.50	406.00	.00	.05	8.86	4880.	.7600	10.63	46.12	1.93	9.90	120.60
	22.00	252.50	406.00	.00	.06	8.92	4760.	.8600	12.03	46.17	2.64	13.54	120.74
07.12.84	01.00	255.50	406.00	.00	.05	8.97	4750.	.8400	11.75	46.21	2.47	12.67	120.87
	04.00	258.50	406.00	.00	.05	9.02	4610.	.8800	12.31	46.25	2.58	13.23	120.99
	07.10	261.60	406.00	.00	.05	9.07	4700.	.8400	11.75	46.30	2.47	12.67	121.12

Légende: rabat.: rabatement
vol.c: volume corrigé
cond.: conductibilité électrique
uran.: uranine

Leuggern 1463 m

date	heure	durée (h)	rabat. (m)	volum (m3)	vol.c (m3)	Σvol.c (m3)	cond. (u5/cm)	uranine (g/l)	uran. (%)	Σuran. (g)	nTFMBA (g/l)	nTFMBA (%)	ΣnTFMBA (g)
13.02.85	18.65	.00	100.00	.80	.80	.80	483.	6.6800	98.24	5.34	18.76	103.65	15.01
	19.20	.55	100.00	.80	.80	1.60	498.	6.3800	93.82	10.57	.00	.00	15.01
	19.45	.80	100.00	.80	.80	2.40	817.	4.5300	66.62	14.93	.00	.00	15.01
	20.05	1.40	100.00	1.60	1.60	4.00	509.	6.1800	90.88	23.50	18.01	99.50	73.84
	20.40	1.75	100.00	1.10	1.10	5.10	542.	6.1500	90.59	30.29	.00	.00	73.84
	20.55	1.90	100.00	.40	.40	5.50	0.	4.8200	70.88	32.48	.00	.00	73.84
	20.75	2.10	100.00	.70	.70	6.20	0.	4.3300	63.68	35.69	.00	.00	73.84
	21.00	2.35	100.00	.70	.70	6.90	882.	4.2800	62.94	38.70	11.34	62.55	116.40
	22.00	3.35	100.00	2.90	2.90	9.80	983.	3.4900	51.32	49.97	9.56	52.82	146.70
	22.50	3.85	100.00	1.50	1.50	11.30	1057.	2.8900	42.50	54.75	.00	.00	146.70
	23.00	4.35	100.00	1.50	1.50	12.80	1119.	2.4100	35.44	58.73	6.83	37.73	171.29
	23.50	4.85	100.00	1.50	1.50	14.30	1154.	2.0600	30.29	62.08	.00	.00	171.29
14.02.85	00.10	5.45	100.00	1.80	1.80	16.10	1164.	2.7000	39.71	66.36	4.14	22.87	189.39
	00.50	5.85	100.00	1.20	1.20	17.30	1213.	1.9100	28.09	69.13	.00	.00	189.39
	01.00	6.35	100.00	1.20	1.20	18.50	1230.	1.4700	21.62	71.16	.00	.00	189.39
	03.40	8.75	100.00	.00	1.60	20.10	0.	.0000	.00	71.16	.00	.00	189.39
	04.00	9.35	49.00	2.67	2.28	22.38	1294.	1.1900	17.50	76.32	3.15	17.40	212.28
	05.00	10.35	55.00	3.17	3.13	25.51	1300.	.9200	13.53	79.62	2.48	13.70	221.09
	06.00	11.35	56.50	4.20	4.19	29.70	1363.	.7100	10.44	83.03	1.87	10.33	230.20
	07.00	12.35	57.50	4.10	4.09	33.79	1372.	.5800	8.53	85.67	1.52	8.40	237.14
	08.00	13.35	58.00	4.20	4.20	37.99	1376.	.4800	7.06	87.90	.00	.00	237.14
	09.00	14.35	59.00	4.21	4.21	42.20	1388.	.4300	6.32	89.81	.00	.00	237.14
	10.00	15.35	59.00	4.21	4.21	46.41	1382.	.3240	4.76	91.40	.00	.00	237.14
	11.00	16.35	60.00	4.05	4.05	50.46	1383.	.2980	4.38	92.66	.81	4.48	256.56
	12.00	17.35	60.00	4.17	4.17	54.63	1401.	.2650	3.90	93.83	.73	4.03	259.77
	13.00	18.35	61.00	4.17	4.17	58.80	1402.	.2390	3.51	94.88	.66	3.62	262.66
	14.00	19.35	60.50	4.21	4.21	63.01	1404.	.2200	3.24	95.85	.00	.00	262.66
	15.00	20.35	61.50	4.21	4.21	67.22	1389.	.2040	3.00	96.74	.00	.00	262.66
	16.00	21.35	61.00	4.21	4.21	71.43	1400.	.1730	2.54	97.54	.00	.00	262.66
	17.00	22.35	61.00	4.33	4.33	75.76	1383.	.1530	2.25	98.24	.43	2.36	271.85
	18.00	23.35	64.50	4.31	4.28	80.04	1377.	.1490	2.19	98.89	.00	.00	271.85
	19.00	24.35	65.00	4.33	4.33	84.37	1371.	.1390	2.04	99.51	.00	.00	271.85
	20.00	25.35	65.00	4.20	4.20	88.57	1432.	.1350	1.99	100.09	.00	.00	271.85
	21.00	26.35	65.50	4.20	4.20	92.77	1421.	.1210	1.78	100.63	.00	.00	271.85
	22.00	27.35	65.50	4.20	4.20	96.97	1420.	.1110	1.63	101.11	.00	.00	271.85
	23.00	28.35	65.50	4.20	4.20	101.17	1429.	.1030	1.51	101.56	.00	.00	271.85
15.02.85	00.00	29.35	66.00	4.20	4.19	105.36	1431.	.0960	1.41	101.98	.00	.00	271.85
	01.00	30.35	66.00	4.20	4.20	109.56	1426.	.0910	1.34	102.37	.26	1.43	283.44
	02.00	31.35	66.00	4.20	4.20	113.76	1423.	.0870	1.28	102.75	.00	.00	283.44
	03.00	32.35	66.50	4.20	4.20	117.96	1413.	.0810	1.19	103.10	.00	.00	283.44
	04.00	33.35	66.50	4.20	4.20	122.16	1417.	.0810	1.19	103.44	.00	.00	283.44
	05.00	34.35	66.50	4.20	4.20	126.36	1367.	.0750	1.10	103.77	.20	1.12	287.31
	06.00	35.35	66.00	4.20	4.20	130.56	1419.	.0690	1.01	104.07	.00	.00	287.31
	07.00	36.35	65.50	4.20	4.21	134.77	1420.	.0670	.99	104.35	.00	.00	287.31
	08.00	37.35	67.00	4.20	4.19	138.96	1420.	.0670	.99	104.64	.17	.96	289.67
	09.00	38.35	68.00	4.20	4.19	143.15	1411.	.0630	.93	104.91	.00	.00	289.67
	10.00	39.35	64.50	4.20	4.23	147.38	1401.	.0580	.85	105.16	.00	.00	289.67
	11.00	40.35	64.00	4.20	4.20	151.58	1399.	.0690	1.01	105.43	.00	.00	289.67
	12.00	41.35	64.00	3.84	3.84	155.42	1404.	.0580	.85	105.67	.00	.00	289.67
	13.00	42.35	63.50	3.84	3.83	159.25	1410.	.0660	.97	105.91	.00	.00	289.67
	14.00	43.35	66.50	3.84	3.82	163.07	1403.	.0520	.76	106.14	.00	.00	289.67
	15.00	44.35	69.50	3.90	3.88	166.95	1370.	.0510	.75	106.34	.13	.74	293.97
	16.00	45.35	68.00	3.90	3.91	170.86	1373.	.0560	.82	106.55	.14	.77	294.50

Légende: rabat.: rabatement
vol.c.: volume corrigé
cond.: conductibilité électrique
uran.: uranine