

MICROFICHE ETABLIE A PARTIR DE
L'UNITE DOCUMENTAIRE
N

جديدة منجزة حسب الوثيقة
رقم :

93

0222

ROYAUME DU MAROC

المملكة المغربية

المركز الوطني للتوثيق
CENTRE NATIONAL DE DOCUMENTATION

SERVICE DE REPROGRAPHIE
ET IMPRIMERIE

B.P 826 RABAT



مصلحة الطباعة والتصوير
ص.ب 826 الرباط

F

1

METHODES D'INVESTIGATIONS HYDROGEOLOGIQUES UTILISEES PAR LA CEDRA DANS LES FORAGES PROFONDS EN SUISSE

Vinard P. et Thury M.,
Cédra, Hardstr. 73, CH-5430 Wettingen, Suisse

INTRODUCTION

La Cédra, société coopérative nationale pour l'entreposage de déchets radioactifs, a le mandat de rechercher des sites en Suisse pour un dépôt final. L'entraînement des radionucléides hors de la zone de stockage vers la biosphère se faisant essentiellement par le biais de l'eau souterraine, l'appréciation de la sûreté d'un site potentiel passe nécessairement par des investigations hydrogéologiques et géochimiques approfondies sur des roches peu perméables. Les données recueillies servent de base à la modélisation hydrodynamique et à la synthèse hydrochimique.

Lors du programme de reconnaissance du socle cristallin du nord de la Suisse, entre 1982 et 1989, sept forages profonds (entre 1'300 et 2'400 m de profondeur) furent amenés à chef et testés. Actuellement une campagne de quatre forages profonds est en cours en Suisse centrale. Ce résumé vise à donner un bref aperçu des méthodes d'investigations hydrogéologiques utilisées et les enseignements que l'on peut en tirer.

TESTS AVEC OBTURATEURS (PACKERTESTS)

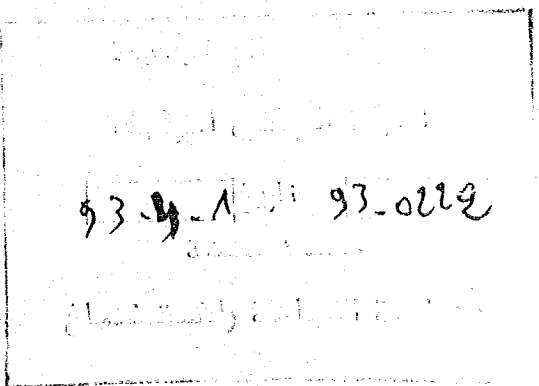
Les tests avec obturateurs ont pour objectif, la détermination des paramètres hydrauliques de différents intervalles du forage, à savoir: la transmissivité (T), la conductivité hydraulique (k) et la charge hydraulique (H). L'intervalle (3 à 50 m) est, soit l'espace compris entre deux obturateurs, soit celui situé sous un obturateur (fond du trou).

Les dispositifs et méthodes d'essais utilisés sont dérivés de ceux utilisés par la prospection pétrolière, mais avec enregistrement en surface des pressions et températures, mesurées non seulement au niveau de l'intervalle, mais également au-dessus de l'obturateur supérieur et en-dessous de l'obturateur inférieur, s'il s'agit d'une configuration à obturateur double. On fait varier artificiellement la pression hydraulique dans l'intervalle de test, en retirant ou ajoutant de l'eau de manière contrôlée.

Les différentes méthodes de tests sont les tests à pression constante, les tests à débit constant, les tests de type "Slug" (débit variable après une impulsion unique) et les tests de type "Pulse": (impulsion unique de pression à débit théoriquement nul). Pour tester un intervalle, on procède à des séquences de tests successifs, améliorant l'interprétation grâce à la reproduction des réactions de l'intervalle testé.

Les tests sont interprétés à l'aide de modèles simplifiés d'écoulement, posés en équations. Le modèle le plus courant postule un milieu poreux équivalent, homogène à symétrie radiale. Selon les circonstances, des modèles plus complexes sont appliqués. Les modèles tiennent compte des variations de pression depuis le moment de la perforation de la zone, jusqu'au test proprement dit.

Dès 1982, les tests par obturateurs font partie des techniques de mesure standard en forages profonds de la Cédra. Quoique coûteuse, il s'agit d'une méthode fiable et reproductible sur presque toute la gamme des perméabilités et conditions de flux (y compris la composante gazeuse).



DIAGRAPHIE DES FLUIDES (FLUID-LOGGING)

La diagraphie des fluides permet de localiser exactement les zones perméables et - si les conditions s'y prêtent - de fournir une estimation quantitative de leurs transmissivités et caractéristiques de débit. Deux méthodes sont appliquées, la diagraphie température/conductivité électrique du fluide de forage en fonction du temps (cf. fig. 1) et le diagramme de débit avec obturateur.

Diagraphie température/conductivité électrique: D'abord, on remplace le fluide de forage par un fluide à fort contraste de salinité avec l'eau de la formation. Puis, on stimule le flux en pompant de l'eau à débit constant tout en exécutant des diagraphies répétées. Le premier parcours (run) permet de localiser les zones d'afflux dans le forage, les runs suivants servent à l'estimation quantitative des pics qui se développent. La conductivité électrique est corrigée à une température de référence. La similitude des lois de transport thermique et chimique permet l'interprétation de ces deux paramètres à la fois. Lors d'un afflux d'eau dans le forage, il y a compétition entre la composante advective du flux (prédominante si l'afflux est fort) et la composante dispersive (dominante si l'afflux est faible). La transmissivité est calculée sur la base des quantités d'eau affluentes et la baisse du niveau d'eau dans le forage, la conductivité électrique de l'eau de formation étant connue ou estimée.

Diagramme de débit avec obturateur: produit du perfectionnement du débit-mètre classique (moulinet de forage), il intègre un obturateur gonflable, forçant l'écoulement à travers un tuyau interne, de diamètre défini, augmentant du même coup la vitesse d'écoulement. Des écoulements de 0,3 à 0,4 litre à la minute sont ainsi mesurables. Sont enregistrés les rotations du moulinet, la pression de gonflement croissante dans l'obturateur et celle de la colonne de fluide. Le flux est stimulé en pompant ou en injectant de l'eau dans le forage. L'interprétation en est aisée puisque le débit-mètre fournit directement le débit vertical à travers la section de forage. Les brusques différences de débit correspondent aux débits d'écoulement discrets dans la roche. La correspondance entre débit-mètre et tests avec obturateurs est bonne.

Les méthodes de fluid-logging furent introduites à titre d'essai en 1985 et constituent depuis lors des méthodes éprouvées et peu coûteuses.

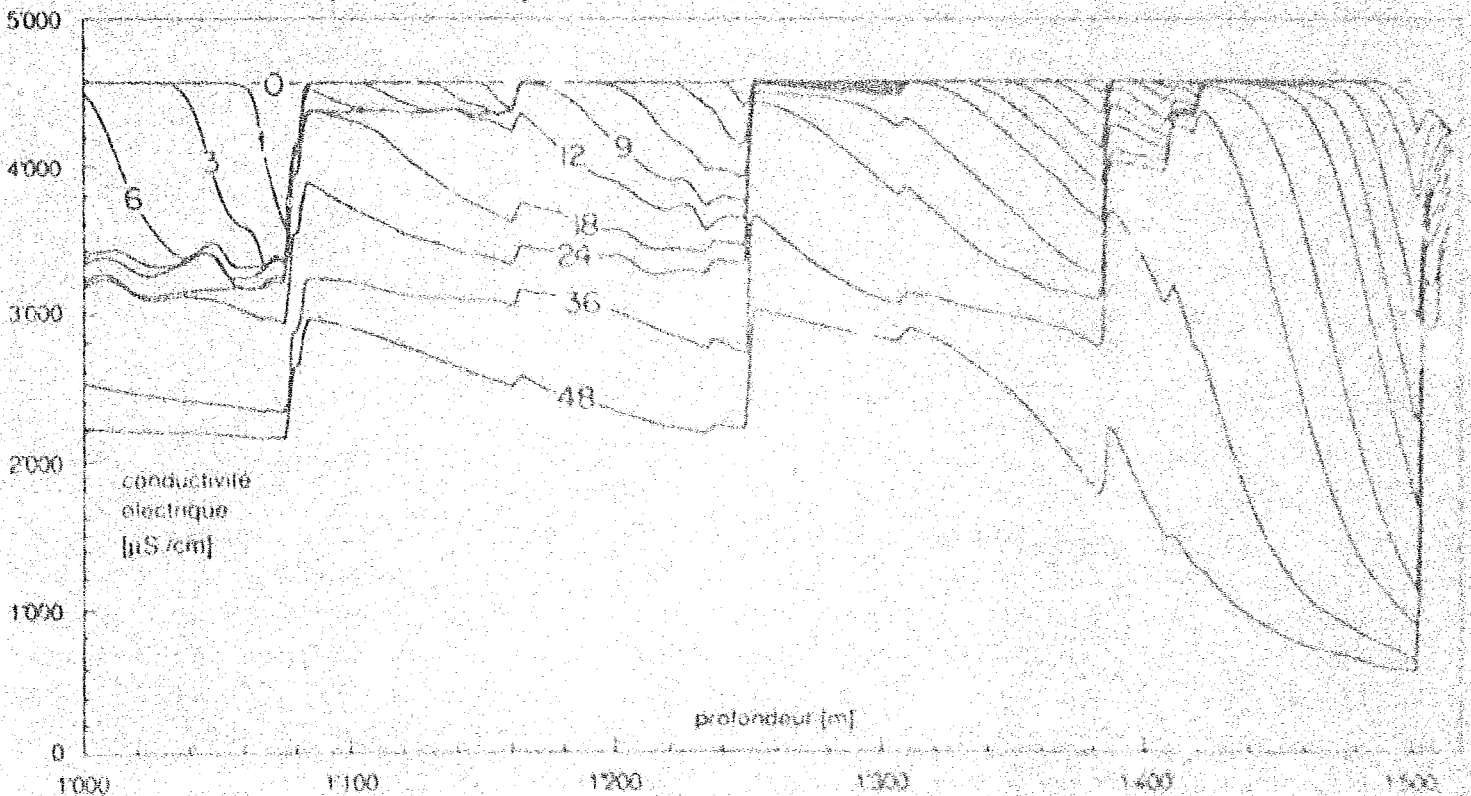


Fig. 1 Série des mesures de température et de conductivité après remplacement du fluide de forage par une solution saline ($4600 \mu\text{S/cm}$). Les moments des mesures 0, 1, 3, 48 heures sont indiqués. Les diaclasses aquifères se manifestent par des anomalies de la conductivité, par exemple à 1080, 1252, 1387 et 1503 mètres de profondeur.

ECHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES

Pour la caractérisation physico-chimique et isotopique des eaux souterraines, des échantillons d'eaux les moins contaminés possibles devront être prélevés.

Le fluide de forage est marqué avec des traceurs (uranine, acide méta-trifluorométhylbenzoïque et autres), ce qui permet de quantifier la contamination de l'eau souterraine par le fluide de forage. Des analyses à intervalles réguliers, sur place, de la teneur en traceurs, permettent de déterminer le moment optimal pour l'échantillonnage. La zone visée est isolée à l'aide des obturateurs. Les caractéristiques hydrauliques de la zone visée dictent le type d'échantillonnage: en surface, par pompage, si le débit est suffisant, ou en forage (down-hole sampling) pour des zones très peu perméables. L'échantillonnage en forage se fait au moyen d'échantillonneurs appropriés (vases de pression) descendus dans le tubage, directement au-dessus du dispositif des obturateurs. Les paramètres instables (pH, potentiel redox) sont mesurés sur place.

Les échantillons sont prélevés pendant la phase d'avancement du forage, au plus vite après l'attaque de la zone visée. La durée de l'échantillonnage est limitée à quelques jours. Les zones relativement perméables fournissent des échantillons très peu contaminés (1-5%), les zones faiblement perméables livrent parfois des échantillons fortement contaminés (jusqu'à 10-50%). Une place importante est dès lors dévolue aux corrections a posteriori des résultats d'analyse sur la base des bilans de masse, d'équilibre et de neutralité électrique (programme PHREEQE).

OBSERVATIONS HYDRAULIQUES A LONG TERME PAR OBTURATEURS MULTIPLES

Presque tous les forages profonds de la Cédra sont équipés d'un système à obturateurs multiples (cf. fig. 2), destiné à mesurer les pressions ou niveaux piézométriques à long terme dans des sections isolées du forage, ainsi qu'à prélever des échantillons d'eau.

Le premier système d'observation à long terme (3 obturateurs) sur le forage de Böttstein en 1984 est toujours parfaitement opérationnel. Quelques autres systèmes ont été mis hors d'usage par des défauts sur les obturateurs. Le gonflement individuel des obturateurs introduit en 1986, limite les conséquences d'un packer défectueux aux zones concernées.

CONCLUSIONS

Les méthodes décrites ci-dessus forment un tout cohérent et inter-dépendant servant à procurer les données de base à la modélisation hydrodynamique et aux synthèses hydrogéologique et hydrochimique. L'ensemble de ces méthodes continuera à servir de référence pour les investigations futures menées par la Cédra.

DOCUMENTATION

Tant les mesures brutes de terrain que les analyses détaillées, les interprétations, modélisations et synthèses subséquentes font l'objet de publications dans la série des rapports techniques Cédra (NTB), comptant une centaine de parutions à ce jour dans le domaine de l'hydrogéologie s.l. Une liste des rapports, et les rapports eux-mêmes, peuvent être commandés directement à la Cédra. Pour le grand public, la Cédra publie plusieurs fois l'an un bulletin en trois langues (Allemand, Anglais et Français) "Cédra informe" pouvant être abonné gratuitement à la même adresse. D'autre part, la Cédra informe régulièrement la communauté scientifique de ses progrès et expériences par des publications dans des revues internationales ou par des communications lors de divers congrès scientifiques.

BIBLIOGRAPHIE

- Cédra (1985): "Sondierbohrung Böttstein"; Rapport technique de la Cédra, NTB 85-01.
Grisak G.E., Pickens J.F., Belanger D.W., Avis J.D. (1985): "Hydrogeologic testing of crystalline rocks during the Nagra deep drilling program"; Rapport technique de la

Cédra, NTB 85-08.

Löw S., Ehlers F., Andrews R.W., McNeish J., Vomvoris S., Hufschmied P. (1988): "Quantitative Analysis of Electrical Conductivity Logs in the Leuggern Borehole, Switzerland"; conférence présentée à l'AGU Fall Meeting, session spéciale sur la "Field-scale Characterization of Hydraulic and Transport Properties of Fractured Rock"; San Francisco, 6-12 décembre, 1988.

Pearson F.J.Jr., Balderer W., Loosli H.H., Lehnmann B.E., Matter A., Peters Tj., Schmassmann H., Gautschi A. (1991): "Applied Isotope Hydrogeology-A Case Study in Northern Switzerland"; Rapport techn. Cédra, NTB 88-01 et Elsevier Science Publishers B.V., ISBN 0-444-88982.

Pickens J.F., Belanger D.W., Saulnier G.J. (1985): "Analysis of pressure and flow data from the long-term monitoring tool in Böttstein borehole"; Rapport techn. Cédra, NTB 85-39, février 1985.

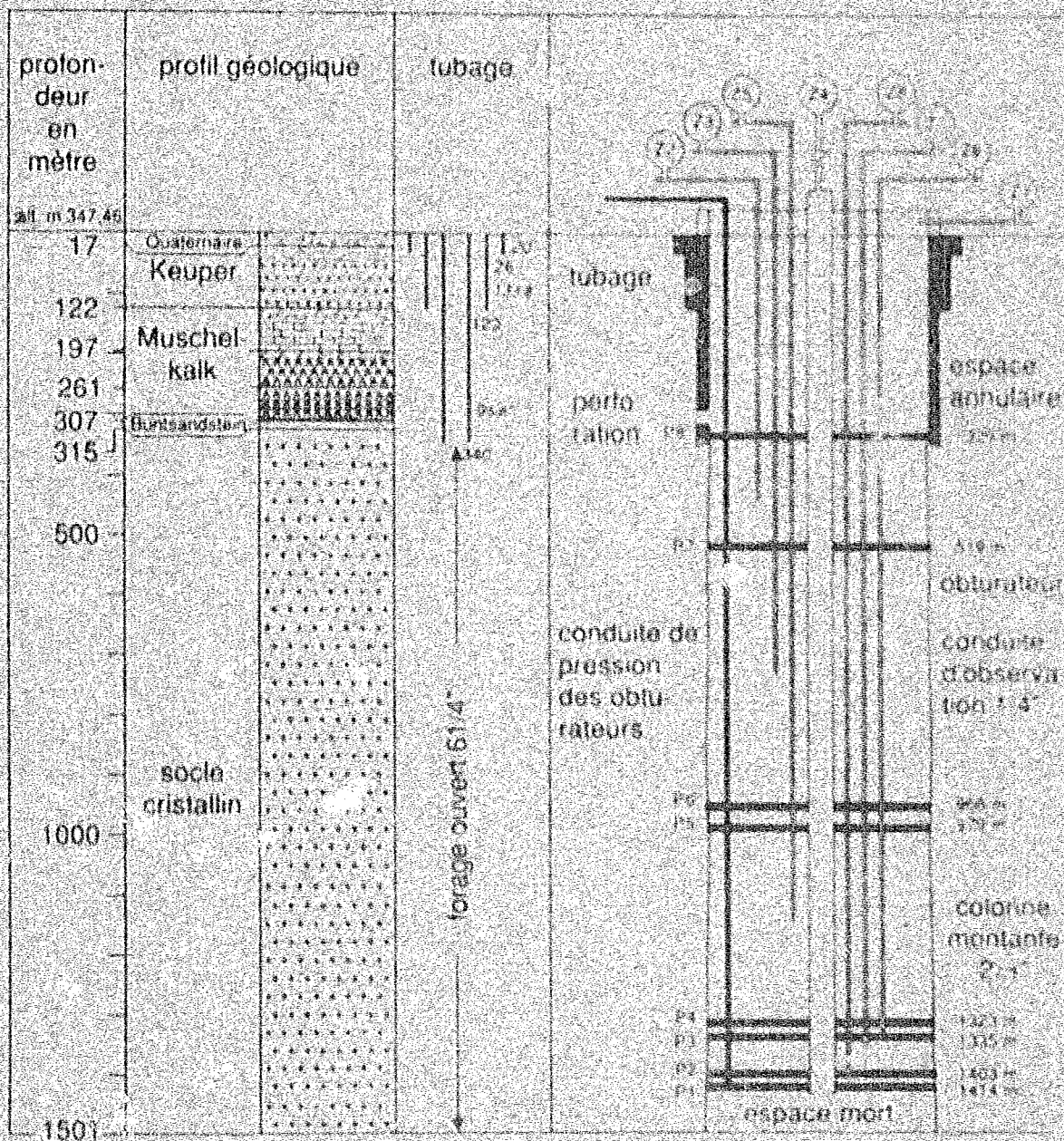
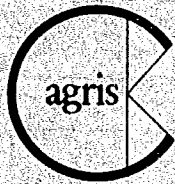


Fig. 2 à gauche: profil géologique et système de tubage du forage de Böttstein à droite: schéma du système à obturateurs multiples tel qu'il est utilisé à Böttstein. Tous les obturateurs sont gonflés par la même conduite de pression.

33-0222

BORDEREAU D'ENTREE DES DONNEES

AGRI Formulaire 1 (Rev. 5)F



001 TRN: C 7 ANNEE NUMERO DE SERIE
 1 1993 323

002 Numero de bordereau: 119
 003 Nombre total de bordereaux: 003
 004 Modification de donnees entrees: R W
 005 Statut de l'enregistrement: NOUVEAU SUBSTITUE SUPREME

006 TRADUCT. GENERIQ. T /

007 RN ou TRN de relation

008 (PRINCIPALE) (SECONDAIRES) (ENTREE REGIONALE)
 P 1 0 / /

009 NIVEAU: A

010 MONOGRAP. NOUVEAU SUBSTITUE SUPREME
 B C D F G H J P R T

011 ANALYTIQUE MONOGRAP. PUBL. EN SERIE COLLECTIF
 A M S T

012 REUNION DICTIONNAIRE PROSE HUMILITES THESES OU THESETSATION LEGISLATION BIBLIOGRAPH. SCIENTIF. RESUME NON CONTRIBUTION. STATISTIQUE
 K L N U W Z Y E V R

1 009 A Utiliser un bordereau pour chaque niveau bibliographique A, M ou C, cercle en 006, en partant du niveau le plus spécifique (c'est-à dire la gauche) et reporter le code correspondant en 009. Pour le niveau bibliographique S, utiliser la section 2 du bordereau. Pour les descripteurs AGROVOC, les termes d'indexation du vocabulaire local et les résumés utiliser les sections 3 à 5 au verso.

NIVEAU		Données (à dactylographier)
Auteur (s) Personne physique (Affiliation (s))	100	Vinard, P.; Thury, M.
Collectivité(s) auteur(s)	110	
Titre universitaire	111	
Titre anglais	200	(Method of hydrological investigations used by CEDRA for deep boring in Highland)
	201	
Résumé	210	Hydrogéologie des Miliars
	211	Marrakech (Maroc)
	213	22-25 Aout 1992
Titre original (Translit.)	230	Methode d'investigations hydrogeologiques utilisees par la CEDRA dans les forages profonds en Suisse
	231	
Edition (N°)	250	
No. Rapport/brevet	300	
No. secondaires	310	
ISBN/IPC	320	
Adresse bibliographique	401	Lieu de publication
	402	Editeur
	403	Date de publication
Collation	500	
Langue (s) du texte	600	(FR)
Notes	610	2 figs. 5 ref.

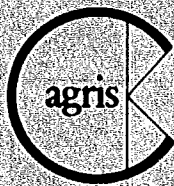
2 009 S

NIVEAU		Données (à dactylographier)
Titre de publication en arabe	230	Revue de la Fa
	231	
ISSN	320	ISSN
Date de publication	403	(1992)
Collation	500	No. 500000 p. 131-139
Notes	610	

93-0222

BORDEREAU D'ENTREE DES DONNEES

AGRS Formulaire 1 (Rev. 5)F



001 TRN: C F AGRIS NUMERO DE SERIE
 001 1 1 9 9 3 2 3

002 1 1 9 003

REVISION: R W
 RETRAIT: R W

004 NOUVEAU: A B
 SUBSTITUE: C D
 SUPRIME: E F

005 RN du document affecté

006 TRANSLUC: T /
 GENERIC: T /

007 RN ou TRN de relation

008 PRINCIPALE: P 1 0
 SECONDAIRES: 0 0 0
 CATEGORIES MATIFRES

008 CODE PAYS: 0 0
 (ENTREE REGIONALE)

008 TYPE BIBLIOGRAPHIQUE: MONOGRAPH, NOUVEAU, DICTIONNAIRE, REVUE, etc.

008 NIVEAU BIBLIOTH. ANALITIQUE, MONOGRAPH, etc.

008 INDICATEUR BIBLIOGRAPHIQUE: REVISION, DICTONNAIRE, etc.

1 009 A

Utiliser un bordereau pour chaque niveau bibliographique A, M ou C, cercle en 008, en partant du niveau le plus spécifique (c'est-à-dire le gauche) et reporter le code correspondant en 009. Pour le niveau bibliographique S, utiliser la section 2 du bordereau. Pour les descripteurs AGROVOC, les termes d'indexation du vocabulaire local et les résumés utiliser les sections 3 à 5 au verso.

NIVEAU		Données (à dactylographier)
Auteur (s) Personne physique (Affiliation (s))	100	Vinard, P.; Thury, M.
Collectivité(s) auteur(s)	110	
Titre universitaire	111	
Titre anglais	200	(Method of hydrological investigations used by CEDRA for deep boring in Switzerland)
	201	
Réunion	210	Hydrogéologie des Milieux
	211	Marrakech (Maroc)
	213	22-25 Aout 1992
Titre original (Translit.)	230	Méthode d'investigations hydrogéologiques utilisées par la CEDRA dans ses forages profonds
	231	en Suisse
Edition (N°)	250	
No. Rapport/brevets	300	
No. secondaires	310	
ISBN/IPC	320	
Adresse bibliographique	401	Lieu de publication
	402	Editeur
	403	Date de publication
Collation	500	
Langue (s) du texte	600	(FR)
Notes	810	2 figs. 5 ref

2 009 S

NIVEAU		Données (à dactylographier)
Titre de publication en série	230	Revue de la Faune
	231	
ISSN	320	ISSN
Date de publication	403	(1992)
Collation	500	No spécial p. 134-139
Notes	810	

FIN

النهاية

8

مشاهد

VUES

3

009 9 / EN 009 9 / ES 009 9 / FR

Code de langue des descripteurs (autres désignations et/ou codes)

Descripteurs AGR000C pour Premier semestre Anné Agronomes Autres descripteurs AGR000C	800	(à compléter) HYDROGEOLOGIE; TECHNIQUE ANALYTIQUE (PRIMAIRE) <small>Cléper les descripteurs par un point virgule (,) et un espace. Faire précéder les propositions de nouveaux descripteurs par un point d'interrogation (?)</small> / <small>Insérer un espace après la barre oblique (/)</small>
Commentaires sur les descripteurs entrants et proposés	810	

4

009 9 /

Code de langue des termes d'information

Termes d'information de vocabulaire local	820	
---	-----	--

5

009 X /

Code de langue du résumé

Langue de résumé ou titre	850	
Résumé	860	Description des méthodes d'investigation servant de données de base à la modélisation hydrogéologique et aux synthèses hydrogéologiques et hydroclastique.

المركز الوطني للمعلوماتية
 المركز الوطني للمعلوماتية
 93 4-1100 93-0222
 الرياض
 المملكة العربية السعودية