

MICROFICHE ETABLIE A PARTIR DE  
L'UNITE DOCUMENTAIRE  
N

جديدة منجزة حسب الوثيقة  
رقم :

9 3

0 2 0 5

ROYAUME DU MAROC

المملكة المغربية

**المركز الوطني للوثائق**  
**CENTRE NATIONAL DE DOCUMENTATION**

SERVICE DE REPROGRAPHIE  
ET IMPRIMERIE

S.P. 826

RABAT



مصلحة الطباعة والتصوير  
ص.ب 826 الرباط

F

1

93-0205

# TRACEURS ARTIFICIELS EN HYDROGEOLOGIE : LIMITES D'APPLICATION ET CRITIQUES DES METHODES D'ANALYSES

Mdaghri Alaoui A.

Centre d'hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel, Rue Emile-Argand 11, CH-2007 Neuchâtel

## INTRODUCTION

Les essais de traçage constituent un des outils privilégiés de l'hydrogéologue comme en témoignent les nombreuses études de zones de protection.

L'utilisation des traceurs artificiels nécessite une bonne connaissance des conditions hydrogéologiques du terrain d'essai, de leurs caractéristiques chimiques, ainsi que des problèmes que posent leurs analyses au laboratoire.

Cette étude se propose de donner un aperçu descriptif et critique des méthodes d'analyse en spectrométrie : analyses spectrales par spectromètre LS-5B de PERKIN-ELMER (PE) et séparation des traceurs par chromatographie liquide (HPLC : High Performance Liquid Chromatography).

## CARACTERISTIQUES DES TRACEURS

Les traceurs artificiels sont des molécules organiques; ils sont formés de liaisons conjuguées doubles-simples. En solution, ils ont la propriété d'absorber de l'énergie sous forme de lumière et d'en émettre par excitation de leurs molécules (fluorescence). La lumière émise par fluorescence a une longueur d'onde plus grande que celle d'excitation. Les spectres d'émission et d'absorption sont caractéristiques de chaque traceur (fig. 1). Les traceurs fluorescents peuvent être déterminés suivant leur spectre de fluorescence. En général, ils produisent des pics dans la partie visible du spectre; dans le cas du naphthionate, la lumière émise par fluorescence est bleu violet; sa longueur d'onde est proche des ultra-violets.

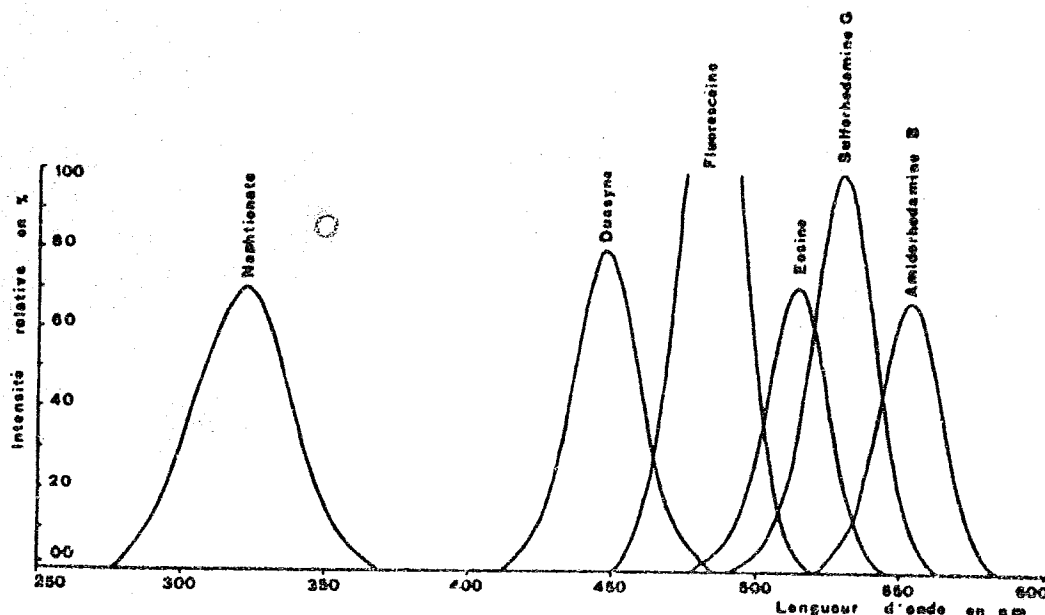


Figure 1 : Spectres des principaux traceurs fluorescents utilisés en hydrogéologie.

Les traceurs fluorescents le plus souvent utilisés en hydrogéologie sont : l'uranine (fluorescéine), la duasyne, le naphthionate, l'éosine, la rhodamine B et la sulforhodamine G. Trois essais nous ont permis de faire une évaluation comparative des traceurs (Allemann & Mdaghri Alaoui, 1991) :

- essai batch consiste à ajouter une quantité importante de sable argileux dans des solutions de colorants de concentration connue. Le mélange est agité. On effectue des prélèvements avec des pas de temps croissants. Les échantillons sont ensuite filtrés. Nous remarquons que l'uranine, la duasyne et l'éosine ne sont pas adsorbés par les argiles; leur concentration ne varie pas, même après 24 heures d'essai. La rhodamine B est adsorbée à 65 % après 1 heure. La sulforhodamine G est entièrement adsorbée après 1 heure.

- essai sur une colonne de sable de 40 cm de haut et de 2.50 cm de diamètre. Elle est remplie avec du sable glacio-lacustre fin argileux lavé. Cet essai consiste à injecter une solution standard (1ml) composée d'un mélange de traceurs artificiels. Les résultats sont indiqués dans le tableau 1.

COLONNE	temps de la 1ère arrivée (mn)	temps de retard (mn)	taux de restitution (%)	vitesse max. (cm/mn)	temps conc. max. (mn)	temps de disparit. (mn)	seuil de détection (g/ml)
Napht.	16	2	38	2.38	17	20	9.0E-8
Duasyne	16	2	106	2.38	17	34	2.4E-10
Uranine	14	0	26	2.71	17	36	1.28E-11
Eosine	15	1	47	2.58	18	26	4E-9
Rhod. B	12	0	1	3.17	17	35	6.6E-11

Tableau 1 : Résultats du multitraçage effectué sur la colonne.

- un troisième essai a été réalisé sur le terrain (plateau vaudois près de Cossonay à Dizy, Suisse). La nappe à porosité d'interstices se trouve dans des graviers qui sont des dépôts fluvio-glaciaires de Würm moyen. Les résultats de cet essai figurent dans le tableau 2.

DIZY	temps de la 1ère arrivée en (j)	temps de retard (j)	taux de restitution (%)	vitesse max (m/j)	temps conc. max (j)	temps de disparit. (j)	seuil de détection (g/ml)
Uranine	3.8	0	2.44	21.7	13.3	105	2.28E-11
Eosine	4.8	0.92	65	17.19	21.5	42.8	4E-9
Duasyne	11.2	7.33	110	7.37	34.5	84.3	2.4E-10
Rhod. B	6.8	3	1	12.13	16	83.3	6.6E-11

Tableau 2 : Résultats du multitraçage effectué dans la nappe à porosité d'interstices de Dizy, Suisse.

En résumé, l'uranine, la duasyne et l'éosine sont de bons traceurs hydrogéologiques. La duasyne est retenue légèrement plus longtemps dans le terrain que l'uranine. L'éosine présente le désavantage de produire 3 pics de fluorescence qui peuvent interférer avec d'autres traceurs, en particulier l'uranine. Le taux de restitution de l'uranine assez faible est compensé par une forte intensité de fluorescence et un seuil de détection très bas. La rhodamine B reste facilement piégée dans le terrain si la fraction argileuse est importante. Le naphthionate doit être injecté en grande quantités car son seuil de détection est élevé. La sulforhodamine G est un bon traceur dans les milieux à porosité de fissures ou de chenaux (terrains karstiques ou cristallins); par contre, dans les terrains à porosité d'interstices, elle est entièrement retenue par les particules fines.

## SPECTROMETRIE LS-5B DE PE

### Principe de la méthode

La lumière émise par la lampe a un spectre qui s'étale sur une large gamme de longueur d'onde. Cette lumière doit être filtrée une première fois pour ne laisser passer que la lumière excitant le traceur de façon optimale. La lumière arrive ensuite dans la cuve où se trouve le traceur qui émet à son tour, par fluorescence une lumière de plus grande longueur d'onde. Cette lumière est filtrée avant d'arriver dans la cellule photoélectrique. L'énergie électrique correspondante est mesurée par un galvanomètre, après passage par un amplificateur.

Le spectromètre a l'avantage de pouvoir mesurer les intensités lumineuses pour tout le spectre, en fonction de la longueur d'onde. Les anomalies (bruit de fond) dans la composition des échantillons peuvent être détectées à l'examen de la forme de la courbe spectrale. Cette dernière est effectuée soit par scanning simple soit par double-scanning. Ces analyses spectrales permettent une visualisation des phénomènes de fluorescence en fonction de la longueur d'onde.

### Critiques de la méthode

Il est toutefois difficile de séparer les pics de 2 ou plusieurs traceurs présents dans la même solution à cause de leur interférence. La présence de l'uranine et d'un traceur présentant une longueur d'onde proche présente une difficulté de séparation de spectres surtout quand l'uranine est présente en concentration plus élevée que celle de l'autre colorant. La présence de matière organique dans les eaux produit des pics de fluorescence dans les ultraviolets, le naphthionate est donc déconseillé dans ces cas. Dans les échantillons, surtout les charbons actifs, les matières humiques produisent des pics qui s'étalent sur une large gamme de longueur d'onde et peuvent masquer le pic du colorant à détecter. Des prélèvements avant l'injection sont d'une grande utilité, car elles permettent de connaître le bruit de fond et facilitent le choix du colorant à injecter.

## HPLC (HIGH PERFORMANCE LIQUID CHROMATOGRAPHY)

### Principe de la méthode

Cette méthode a été développée récemment au Laboratoire de Géologie de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (GEOLP), (Lutz & Parriaux, 1988).

La séparation est effectuée par chromatographie liquide. Les produits sont déversés dans une colonne de quelques micromètres de diamètre contenant une phase stationnaire, composée de petites particules de silicagel recouvertes de paraffine. Durant la séparation, une phase mobile coule en permanence dans la colonne. Les solvants utilisés sont classés selon leur force. Plus un solvant est polaire, plus la séparation des produits à analyser est bonne, mais le temps de rétention dans la colonne augmente. La phase mobile utilisée dans ces essais est composée d'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ), auquel on ajoute progressivement, durant l'analyse, de l'acétonitrile. Ces deux solvants sont utilisés pour analyser plusieurs traceurs simultanément. Chaque substance a sa propre solubilité dans ces deux phases. Le temps de rétention est directement proportionnel à cette solubilité (fig. 2).

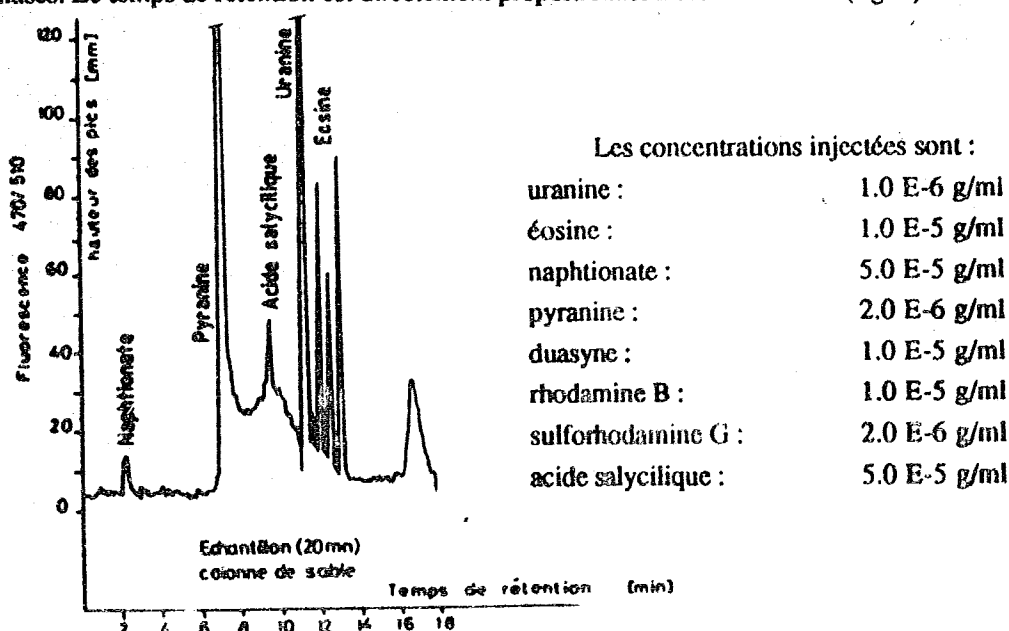


Figure 2 : Pics de fluorescence, séparation par chromatographie. Essai sur colonne de sable.

Le milieu étant acide ( $pH < 5$ ), les échantillons sont alcalinisés par addition d'ammoniac ( $NaOH$ ) avant leur passage dans le spectrophotomètre où seront détectés les traceurs; en milieu acide, la fluorescence est très faible (H. BEHRENS, 1988).

## Critiques de la méthode

Le HPLC permet d'annihiler les effets dus aux interférences entre traceurs et au parasitage par la matière organique.  
Le seuil de détection est plus bas. Cette méthode assure également une meilleure reproductibilité des mesures.

## CONCLUSIONS

Une meilleure interprétation des résultats d'analyses dépend du choix du bon traceur lié à la bonne connaissance préalable du contexte hydrogéologique du terrain.

Le spectromètre présente une facilité d'emploi et des coûts bas d'analyses.

Le HPLC permet une nette séparation, d'une part, entre différents traceurs et, d'autre part, entre les traceurs et les matières humiques. Néanmoins, cette méthode nécessite une mise en oeuvre plus complexe.

## BIBLIOGRAPHIE

ACKERMANN, G., BUB, F. P., HOETZL, H. (1982) : Erfahrung mit der Dünnschichtchromatographie beim Nachweis von Fluoreszenztracern. *Beitr. z. Geol., d. Schweiz-Hydrol.* 28 I, S. 63-68.

ALLEMANN, R. & MDAGHRI ALAQUI, A. (1991) : Evaluation comparative de différents traceurs artificiels en hydrogéologie et méthodologie d'analyse. *Bulletin du Centre d'Hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel*, N° 10, pp. 1-10, 5 fig., 3 tabl.

BEHRENS, H. (1971) : Untersuchungen zum quantitativen Nachweis von Fluoreszenzfarbstoffen bei ihrer Anwendung als hydrogeologische Markierungsstoffe. *Geol. Bavarica* 64, S. 120-131, München.

BEHRENS, H. (1982) : Verfahren zum quantitativen und qualitativen Nachweis von nebeneinander vorliegenden Fluoreszenztracern. *Beitr. z. Geol. d. Schweiz-Hydrol.*, 28 I., S. 39-50, Bern.

BEHRENS, H. (1988) : Quantitative Bestimmung von Uranin, Eosin, Pyranin in Gemischen mittels Fluoreszenzmessung bei definierten Ph-Werten. *Steir. Beitr. z. Hydrogeologie*, 35, S. 117-129, Graz.

BUB, F. P., HOETZL, H., WISSER, K. (1979) : Dünnschicht-chromatographischer Nachweis von Fluoreszenztracern bei hydrogeologischen Markierungsversuchen. *Steir. Beitr. z. Hydrogeol.*, 31, S. 129-141, Graz.

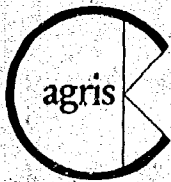
LUTZ, TH. & PARRIAUX, A. (1988) : The identification of uranine in natural water by high performance liquide chromatography (HPLC). *Steir. Beitr. z. Hydrogeologie*, 39, S. 141-147, Graz.

MDAGHRI ALAQUI, A. & CHRISTE, R. (1991) : Pompage de longue durée et essai de coloration. Région de la plaine d'Arcuse. *Rap. Int., Centre d'Hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel*, 11 p., 11 ann., 1 pl. hors-texte.

SMART, P. L., LAIDLAW, I. M. S. (1977) : An evaluation of some fluorescent dyes for water tracing. *Water resources research*, vol. 13, n. 1, p 15-33.

## BORDEREAU D'ENTREE DES DONNEES

AGRI Formulaire 1 (Rev. 5)F



C F	ANNEE	NUMERO DE SERIE
001	1992	00306

002	1/1	003
-----	-----	-----

REVISION	RETRAIT
R	R

NOUVEAU	SUBSTITUE	SUPRIME
N	S	S

005									
-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--

006	TRADUCT.	GENERO.
	T	/

007									
-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--

MONOGRAPH.	NORME	DESSIN	FILM	CARTES OU	DIAGRAM.	SONORE	ART. PUBL.	BREVET	RAPPORT	SUPPORT
B	C	D	F	G	H	I	J	P	R	T

ANALYTIQUE	MONOGRAPH.	PUBL. EN	COLLECTIF
A	M	S	C

REUNION	DICTIONNAIRE	NUMERIQUE	THESE OU	LEGISLATION	SUBLOGRAPH.	CARTES	RESUME	CONFERENCE	STATIST.
K	L	N	U	W	Z	Y	B	V	R

008	P10				
-----	-----	--	--	--	--

009			
-----	--	--	--

TYPE BIBLIOGRAPHIQUE	
----------------------	--

NIVEAU BIBLIOGR.	
------------------	--

INDICATEUR BIBLIOGRAPHIQUE	
----------------------------	--

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 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.

Bibliographie		Données	(à dactylographier)
Auteur (s) Personne physique (Affiliation (s))	100	Mdaghri Alami, A. (Univ. de Neuchâtel, (France) Centre d'Hydrogéologie)	
Collectivité(s) auteur(s)	110		
Titre universitaire	111		
Titre anglais	Titre principal	200	Tracées artificielles en hydrogéologie : limites d'application et critiques des méthodes d'analyses
	Éléments secondaires	201	
Réunion	Nom	210	Hydrogéologie des Milieux discontinus sous climats Arides
	Lieu	211	Marrakech (Maroc)
	Date	213	22-23 Avr 1992
Titre original (Translit.)	Titre principal	230	Tracées artificielles en hydrogéologie : limites d'application et critiques des méthodes d'analyses
	Éléments secondaires	231	
Edition (N°)	250		
No. Rapport/brevet	300		
Non secondaires	310		
ISBN/IPC	320		
Adresse bibliographique	Lieu de publication	401	
	Editeur	402	
	Date de publication	403	
Collation	500		
Langue (s) du texte	600	FR	
Notes	610	2 tableaux, 2 figs, 9 ref.	

2 009 S

Titre de publication en arabe	Titre principal	230	Revue de la Fac. des Sciences de Marrakech - Séminaire
	Éléments secondaires	231	
ISSN	320		
Date de publication	403	(1992)	
Collation	500	16 pages, 37-40	
Notes	610		

3

009

9

/ EN

009

9

/ ES

009

9

/ FR

Code de langue des descripteurs (cocher obligatoirement celui qui convient)

	Etiquette	Données (à dactylographier)
Descripteurs AOROVOC pour l'index matières dans Agrindex	800	EAU: ANALYSE DE L'EAU; SPECTROMETRIE (PRIMAIRE) CHROMATOGRAPHIE
Autres descripteurs AOROVOC		(Séparer les descripteurs par un point virgule (;) et un espace. Faire précéder les propositions de nouveaux descripteurs par un point d'interrogation (?))  /  (laisser un espace après la barre oblique (/))
Commentaires sur les descripteurs existants ou proposés	810	

4

009

9

/

Code de langue des termes d'indexation

Termes d'indexation du vocabulaire local	820	
------------------------------------------	-----	--

5

009

X

/

FR

Code de langue du résumé

Langue du résumé en clair	850	
Résumé	860	Apresu descriptif et critique des méthodes d'analyse en spectrométrie: analyses spectrales par spectrométrie LS-SB de Perkin-Elmer (PE) et séparation des bioeurs par chromatographie liquide.

93-41 92.0205

**FIN**

النهاية

**8**

مشاهد

**VUES**