



TRAÇAGES EN MILIEUX POLLUÉS: MODE D'EMPLOI ET APPLICATIONS

PH. MEUS

EUROPEAN WATER TRACING SERVICES

ET AQUAPÔLE DE L'ULG

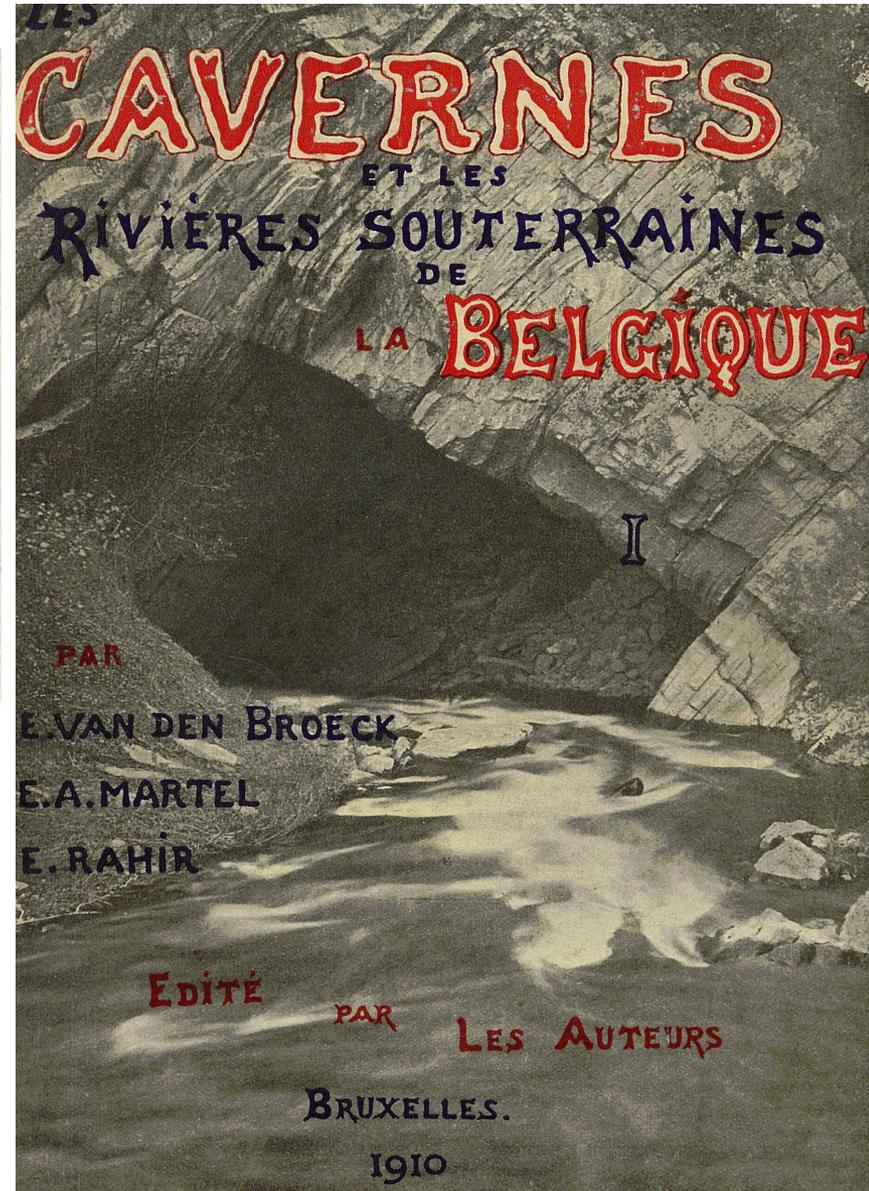


Origines du développement des traçages

(1) De toutes les matières colorantes utilisées jusqu'ici pour rechercher les relations qui peuvent exister entre les points de perte d'une rivière ou d'un ruisseau et les points de réapparition des eaux, la fluorescéine est la meilleure. Elle n'est pas décolorée au cours de son passage souterrain dans les calcaires, ni par l'action des troubles limoneux, faciles, d'ailleurs, à éliminer par filtrage. En solution très diluée dans l'eau, la couleur verte caractéristique de cette substance est masquée par l'acide carbonique contenu dans les eaux courantes, mais une addition d'ammoniaque fait réapparaître la teinte. La sensibilité de la fluorescéine est grande puisque, au moyen d'appareils spéciaux, très pratiques d'ailleurs, on arrive à déceler le dix-milliardième en solution dans l'eau.

Telles sont quelques-unes des appréciations émises par le Comité de la fluorescéine, nommé par la Société belge de Géologie et formé de MM. Ad. Kemna, E.A. Martel, E. Putzeys, E. van den Broeck, membres, et H. Rabozée et E. Rahir, rapporteurs.

Pour plus de détails, nous renvoyons le lecteur à la *Discussion ouverte aux séances des 16 et 30 juin, 14 et 28 juillet, 20 octobre et 15 décembre 1903 de la Société belge de Géol., de Paléontol. et d'Hydrol. sur la vitesse de propagation des eaux souterraines et de la fluorescéine dans les canaux et fissures des terrains calcaires, d'un exposé synthétique résumant les points acquis au cours de cette étude.*



Histoire des traçages

<i>Année/période</i>	<i>Événement</i>
1877	1 ^{er} traçage quantitatif avec NaCl et fluorescéine entre les pertes du Danube et la source de l'Aach (KNOP cité dans KÄSS, 1992).
1904	Création d'un Comité Belge de la Fluorescéine par E. Van den Broeck (VAN DEN BROECK, MARTEL, RAHIR, 1910).
1964	Apparition de la méthode des fluocapteurs au charbon actif (LALLEMAND & PALOC, 1964).
1970-1990	Développement de nombreux traceurs et nombreuses synthèses sur les traçages en milieu karstique.
1988	Parution du premier guide pratique pour l'usage des traceurs artificiels en hydrologie (PARRIAUX et al., 1988).
1992	Parution du premier ouvrage scientifique exhaustif sur les techniques de traçage (KÄSS, 1992).
1992	Premiers fluorimètres à fibre optique (BARCZEWSKI & MARSCHALL, 1992).
1996	Premiers fluorimètres de terrain pour la mesure en continu (BARCZEWSKI et al., 1996, MEUS et al., 1997, SCHNEGG & DOERFLIGER, 1997, GOUZE et al., 2000).

Buts des traçages

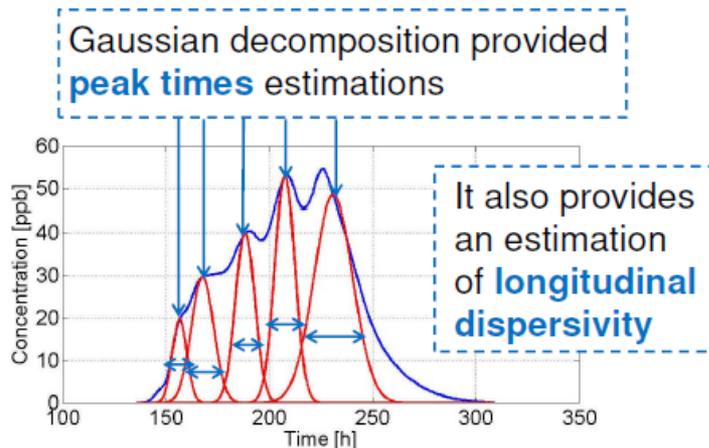
Table 3. Scientific, socio-economic and logistic context for tracer investigations. (Arrows indicate that the categories may be continuous rather than discrete.)

Scientific		Audience		Resources		Environment
Prior Knowledge	Error Tolerance & data resolution		Financial	Technical	Personnel	
Blank		Illiterate individuals				Accessible, small, safe, unpopulated
↕		↕	Poor	None	Unskilled	
Geographic	High	Educated communities	↕	↕ Simple	↕	↕
↕		↕		↕		
Hydrogeol.	↕	Government	Rich	Complex	Skilled	Remote, large, dangerous, populated
↕		Academic				
Contaminant	Low	Legal				

D'après Smart, 2010

Pourquoi les traçages sont-ils plus complexes en milieu pollué?

- échelle d'espace plus restreinte
- circulations plus lentes
- échelle de temps plus longue
- plus d'interactions et d'interférences avec le milieu (le sol et les polluants)
- composante verticale ou stratifications deviennent importantes
- plus de paramètres nécessaires
- moyens techniques plus importants



D'après Fripiat et al. 2015

D'après Flynn et al. 2005

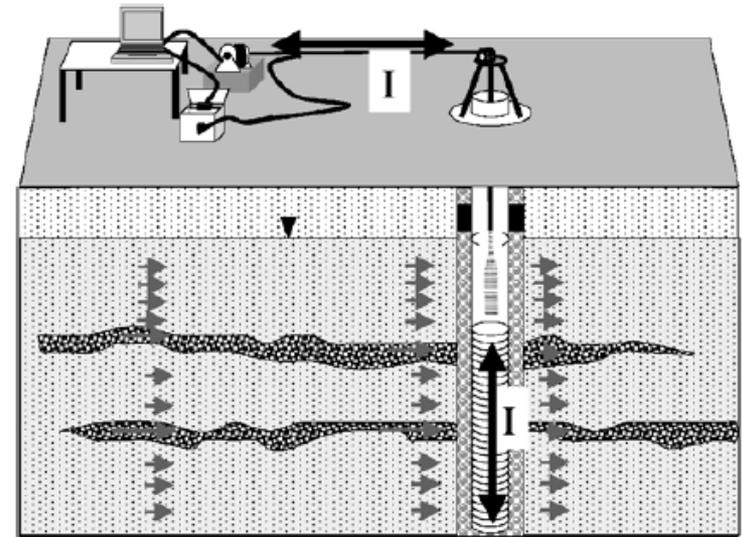


Fig. 2 Operation of the mobile field fluorometer. The multicore cable suspending the fluorometer in the borehole is attached to the programmable pulley cable. The pulley continuously releases and withdraws its cable over an interval I, which corresponds to the interval to be measured downhole

Applications des traçages

Tableau 1.2 : Principaux domaines d'application des traçages en hydrogéologie.

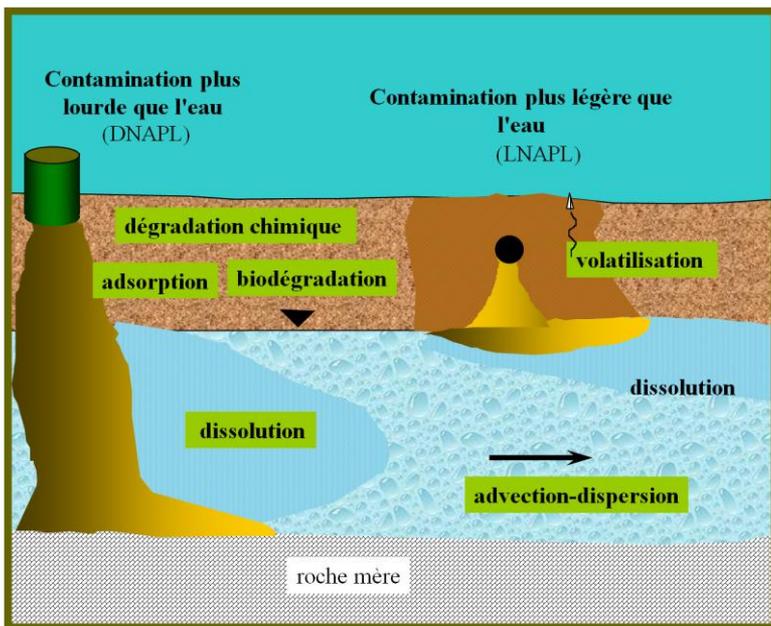
Domaines d'application	Objectifs de l'utilisation des traceurs
Captages d'eau souterraine / sources	<ul style="list-style-type: none"> Délimitation du bassin d'alimentation de captages Vérification qu'un point donné se trouve dans le bassin d'alimentation d'un captage Etude des apports respectifs d'eaux différentes
Zones de protection des eaux souterraines	<ul style="list-style-type: none"> Vérification d'une liaison hydraulique entre le point d'injection et le captage Etude des temps de transit et des vitesses d'écoulement Dimensionnement de zones de protection (délimitation des zones S2 et S3)
Aires d'alimentation des écoulements	<ul style="list-style-type: none"> Délimitation des aires d'alimentation Vérification qu'un lieu donné se trouve dans l'aire d'alimentation d'un captage Connaissance des écoulements souterrains
Evaluation de dangers / simulations d'incidents	<ul style="list-style-type: none"> Vérification d'une liaison hydraulique entre une installation / un chantier et un captage Détermination de temps d'intervention Contrôle du bon emplacement de points de surveillance Estimation de l'ampleur des impacts lors d'une évaluation de risques Simulation de l'effet d'incidents provoquant l'infiltration de liquides dommageables dans les eaux souterraines
Sites contaminés / Aires suspectes	<ul style="list-style-type: none"> Etude du cheminement des eaux d'infiltration Vérification du bon emplacement de points d'échantillonnage en aval d'un site
Décharges	<ul style="list-style-type: none"> Vérification d'écoulements sous des décharges existantes Contrôle des voies d'infiltration : les eaux météoriques s'écoulent-elles vers les drainages prévus ? Contrôle de l'étanchéité des couches de couverture Evaluation de sites pour de nouvelles décharges, p. ex. vérification qu'un site soit hors du bassin d'alimentation de captages Vérification du bon emplacement de points de surveillance
Interaction eaux de surface - eaux souterraines	<ul style="list-style-type: none"> Détection et localisation de tronçons d'infiltration ou d'exfiltration de cours d'eau Détection d'écoulements sous les cours d'eau Identification de lieux d'exutoires de lacs fermés
Détection d'eaux parasites	<ul style="list-style-type: none"> Identification et quantification de l'arrivée à un captage d'eaux d'infiltration provenant d'un cours d'eau Vérification de l'arrivée à un captage d'eaux pluviales d'infiltration proche
Forages / piézomètres	<ul style="list-style-type: none"> Contrôle de la représentativité d'échantillons d'eau souterraine par marquage du fluide de forage Contrôle des bouchons étanches séparant différents niveaux de captage
Expertises en cas de dommages	<ul style="list-style-type: none"> Vérification de l'origine des eaux s'infiltrant dans un bâtiment (p. ex. caves inondées)

les applications liées à la problématique des pollutions sont très nombreuses

Détermination des paramètres de l'aquifère / modélisation des écoulements souterrains

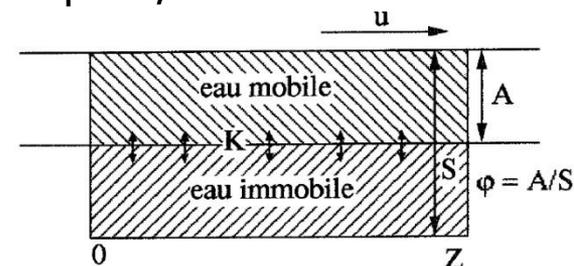
- Détermination de paramètres hydrauliques tels que vitesse d'écoulement et coefficient de dispersion
- Calcul du volume d'emménagement à partir du volume des vides autorisant l'écoulement
- Calibrage et validation de modèles d'écoulement et de transport de masse en solution
- Vérification des directions d'écoulement simulées par rapport aux directions observées

Qu'étudions-nous au juste?



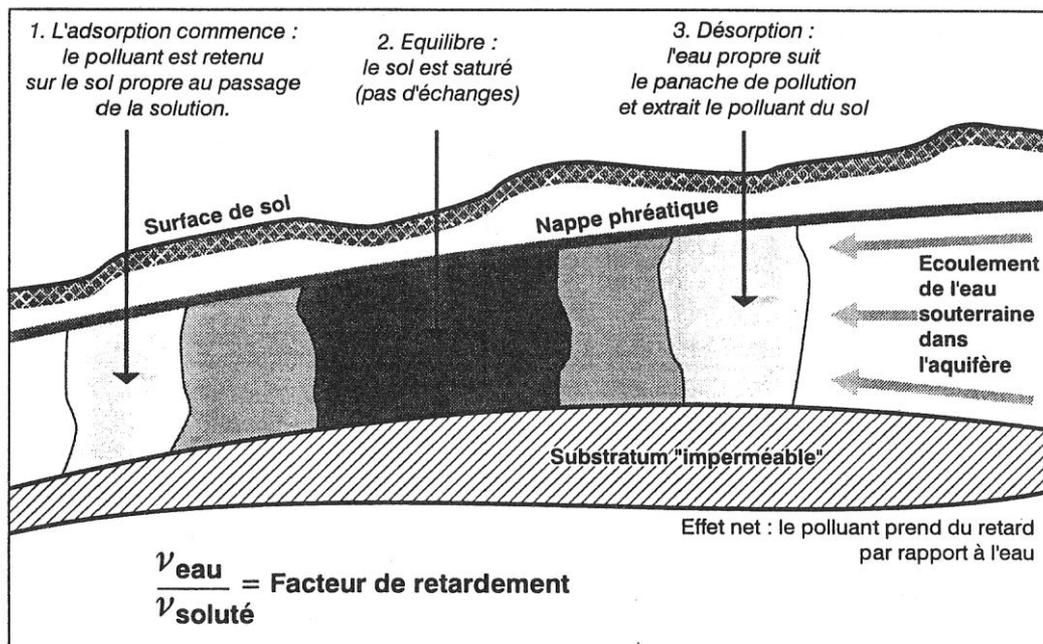
Au moyen de traceurs et traçages **adéquats**:

- les caractéristiques du milieu;
- l'extension de la pollution;
- les modalités de transport;



De manière à:

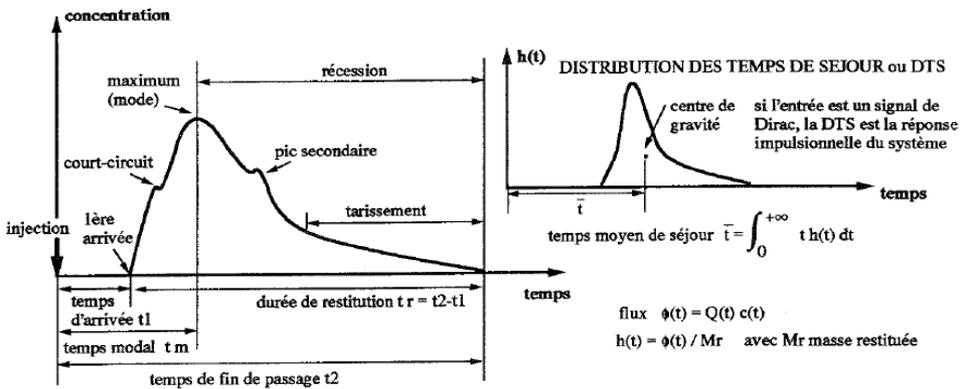
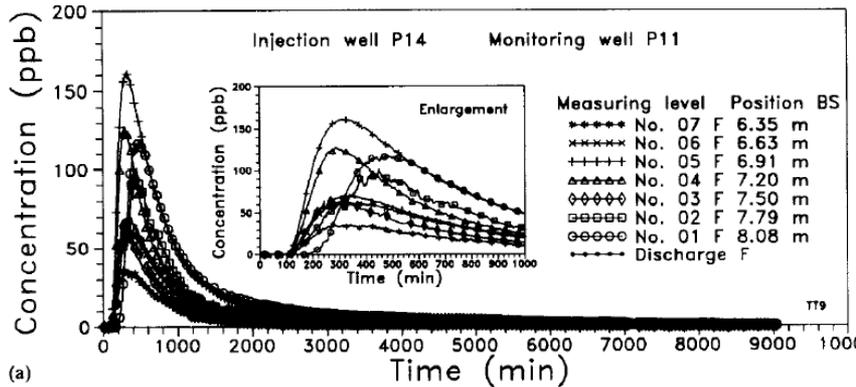
- simuler l'évolution de la pollution et ses risques;
- entreprendre et dimensionner une éventuelle remédiation.



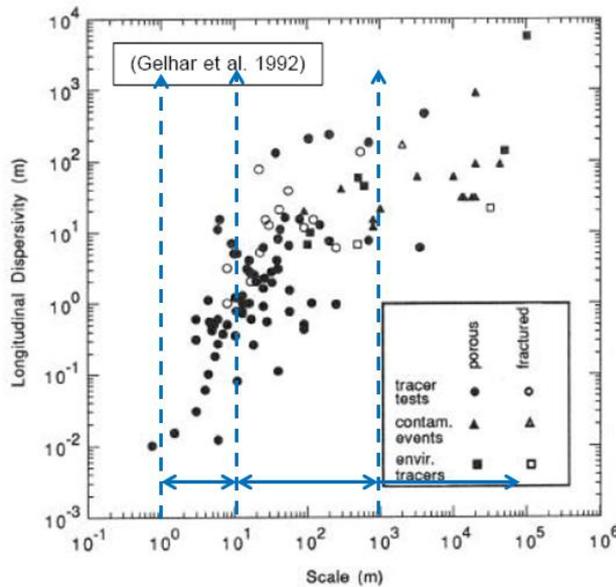
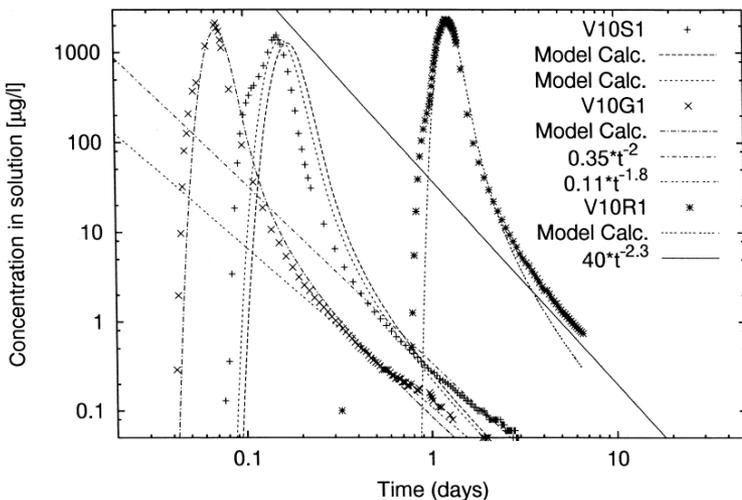
En quoi consiste les résultats?

L'essentiel de l'information est issu des courbes de restitution (voir DTS):

Lesquelles peuvent être exploitées comme outil descriptif:



...ou plus avantageusement comme outil interprétatif:



Logiciel TRAC

- développé par le BRGM sur base de CATTI (Sauty et Kinzelbach);
- solution analytiques simples en milieu poreux;
- utilisation pour la simulation (dimensionnement des traçages) ou l'interprétation (calage des paramètres hydrodispersifs)

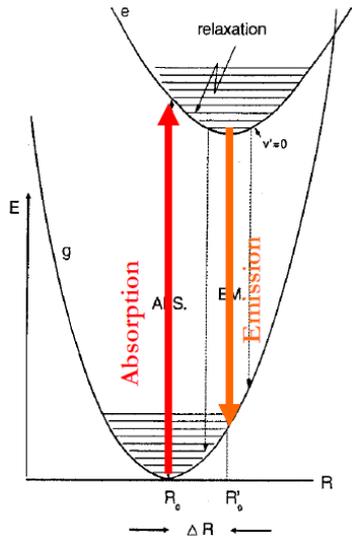
The screenshot displays the TRAC software interface, which is divided into several panels. The main window on the left shows a 3D visualization of a tracer plume in a river, with the word 'TRAC' overlaid. Below this, there are two main functional areas: 'Simuler et dimensionner un traçage' (Simulate and dimension a tracer) and 'Interpréter un traçage' (Interpret a tracer). The 'Simuler' section includes a diagram of a Gaussian plume and a list of tasks: 'Simuler un traçage théorique' and 'Dimensionner un traçage en estimant la masse de traceur à injecter ainsi que la fréquence d'échantillonnage'. The 'Interpréter' section includes a diagram of a data table and a list of tasks: 'Importer vos mesures', 'Sélectionner une solution analytique', 'Caler la courbe simulée / observée', and 'Estimer les paramètres théoriques'. The right side of the interface shows a 'Paramètres' (Parameters) panel with fields for 'Concentration maximale attendue' (set to 10 µg/L), 'Paramètre à déterminer' (set to M_0), and 'Valeur actuelle' (9.53E-2 kg). Below this, there are fields for 'Temps première mesure' (2.0E5 s), 'Temps dernière mesure' (4.8E6 s), 'Espacement des mesures' (1.58E5 s), and 'Nombre de mesures' (30). A 'Graphique' (Graph) panel on the far right shows a plot of 'Concentration (µg/L)' versus 'Temps (s)'. The plot shows a bell-shaped curve peaking at approximately 10 µg/L at 1E6 seconds. A table at the bottom of the graph panel lists the parameters for the simulation:

Courbe	Σ	M	α	e	α_L	r	Q_p	λ	R_L
1	9.53E-2	0.1	15	5	40	6.11E-3	0	1	

Au-delà, bien évidemment, on entre dans le domaine des modèles numériques...

Les traceurs fluorescents

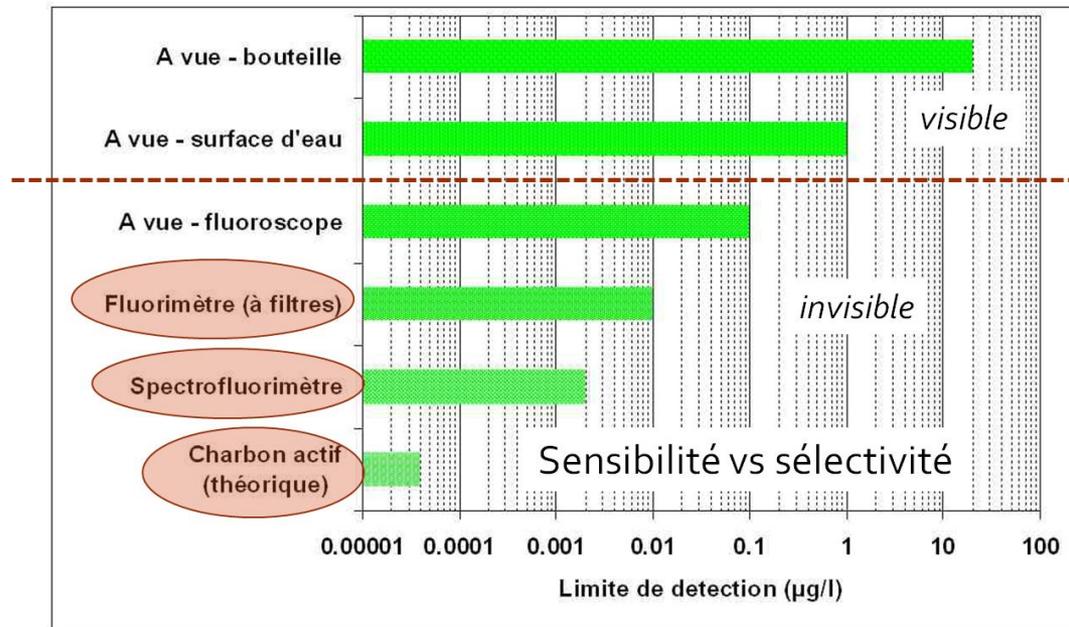
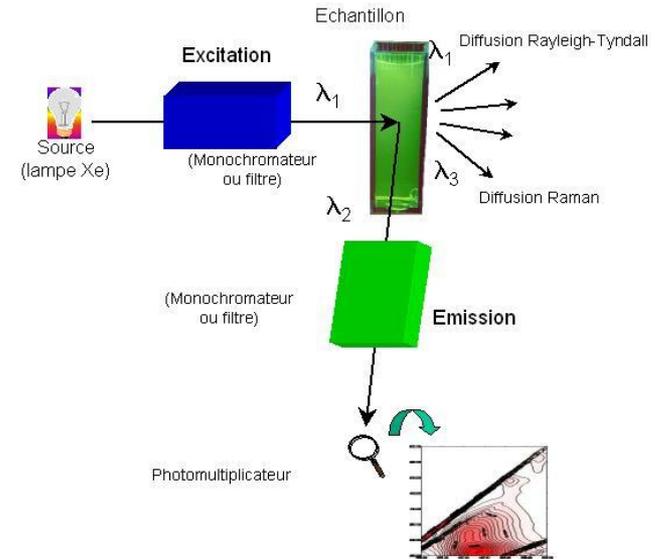
Principe de la fluorescence:



L'énergie émise est plus faible que l'énergie excitatrice
 $E = hc/\lambda$

$$E_{ex} > E_{em}$$

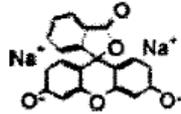
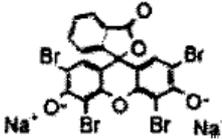
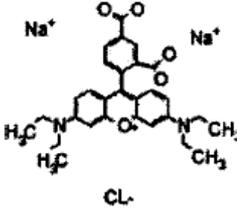
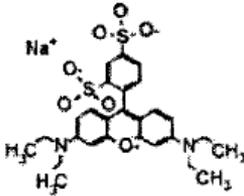
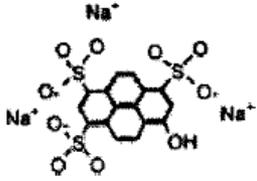
$$\lambda_{ex} < \lambda_{em}$$



Limites de détection de l'uranine (ou fluorescéine sodique)

Les traceurs fluorescents classiques

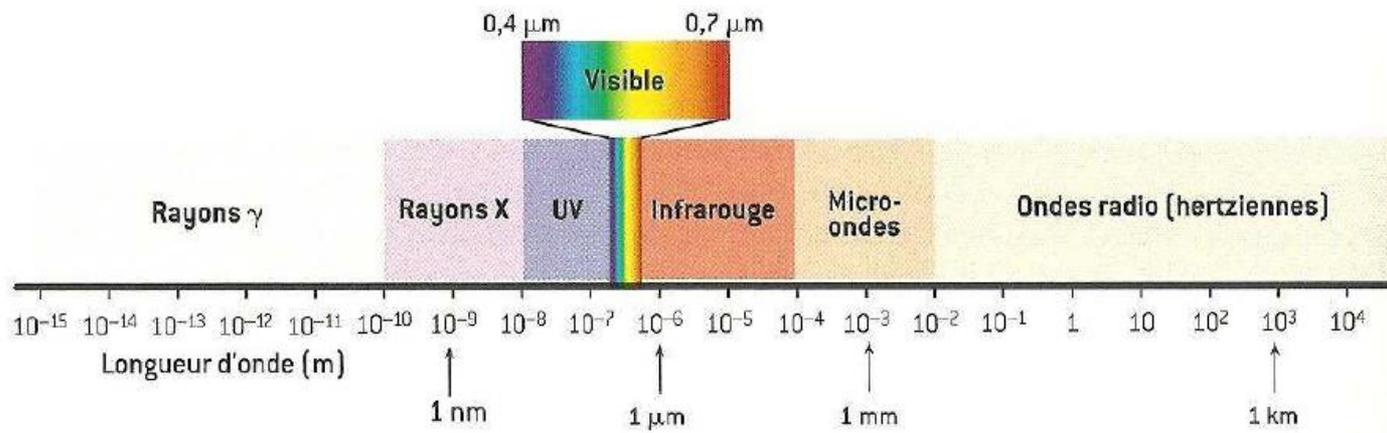
Table 1. Physical and Chemical Characteristics of Fluorescein, Eosine, Rhodamine WT, Sulforhodamine B, and Pyranine

Dye	Fluorescein ^a (Acid Yellow 73)	Eosine (Acid Red 87)	Rhodamine WT (Acid Red 388)	Sulforhodamine B (Acid Red 52)	Pyranine (Solvent Green 7)
Group	Xantenes	Xantenes	Rhodamines	Rhodamines	Aromatic hydrocarbons
Structure ^b					
Formula ^c	C ₂₀ H ₁₀ O ₅ Na ₂	C ₂₀ H ₆ Br ₄ O ₅ Na ₂	C ₂₉ H ₂₉ N ₂ O ₅ Na ₂ Cl	C ₂₇ H ₃₀ N ₂ O ₇ S ₂ Na ₂	C ₁₆ H ₇ O ₁₀ S ₃ Na ₃
Molecular weight (g/mol)	376	692	566	604	524
Detection limit ^c (ppb)	0.002	0.01	0.006	0.007	0.008
Excitation/emission wavelength (nm) ^c	492/513	515/535	558/583	560/584	460/512
Log K _{ow} ^b	-0.39	-1.33	-1.33	-2.02	-0.68

^aKnown as Uranine in Europe.

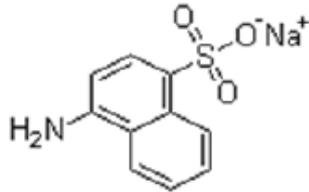
^bField et al. (1995).

^cBehrens (1986).



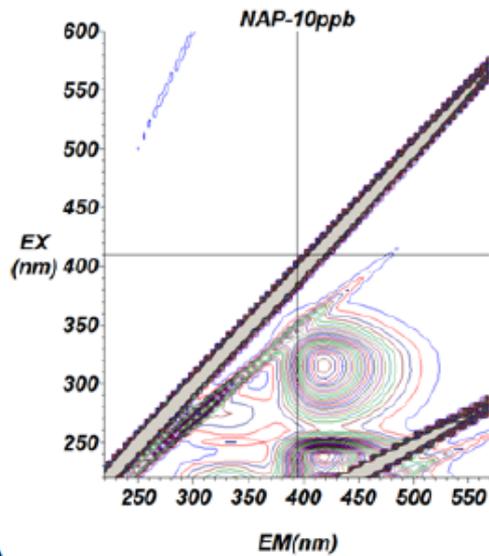
Les traceurs fluorescents UV - sulfonates

Sodium naphthionate (NAP) :
4 amino 1 naphthalen sulfonic
acid sodium salt

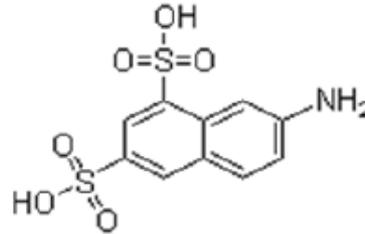


$C_{10}H_8NNaO_3S$
Source : [Chemblink](#)

CAS 130-13-2



Amino G acid (AGA) :
7 amino 1,3 naphthalen disulfonic
acid



$C_{10}H_9NO_6S_2$
Source : [Chemblink](#)

CAS 86-65-7

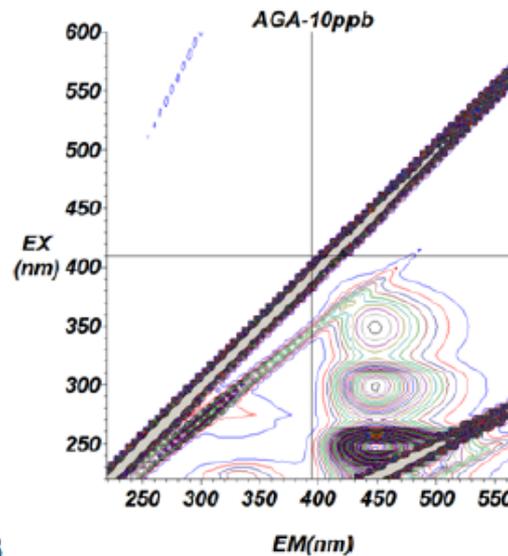


Figure 1. Chemical characteristics of the sulfonate tracers: naphthionate (A) and amino G acid (B) with corresponding fluorescence excitation emission matrices (EEM).

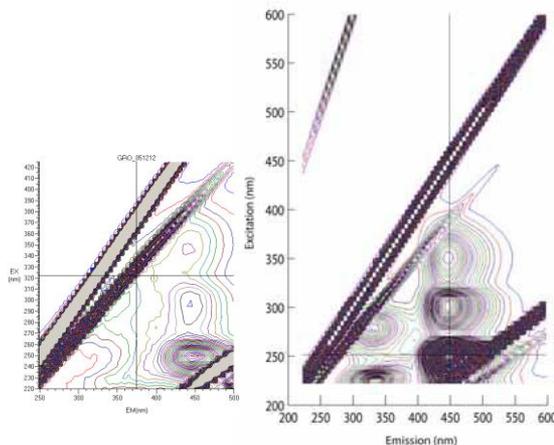
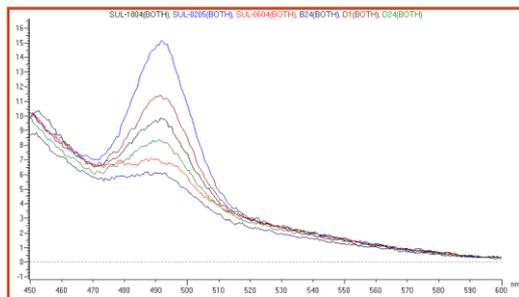
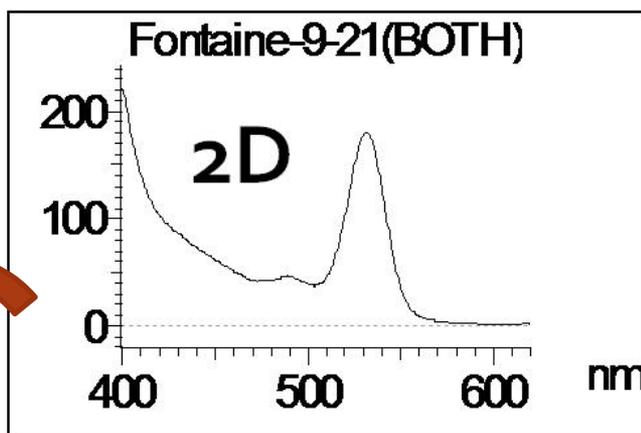
Modes d'analyse en spectrofluorimétrie

Longueurs d'ondes fixes

Std.No.	530.0/555.0	Conc (µg/l)
1 1	3.709	0.000
2 2	6.354	0.025
3 3	9.264	0.050
4 4	13.22	0.075
5 5	16.59	0.100
6 6	40.84	0.250
7 7	87.55	0.500
8 8	121.5	0.750
9 9	160.3	1.000
10 10	333.1	2.500
11 11	730.6	5.000
12 12	1128	7.500
13 13	1549	10.000
14 14	4099	25.000
15 15	8335	50.000

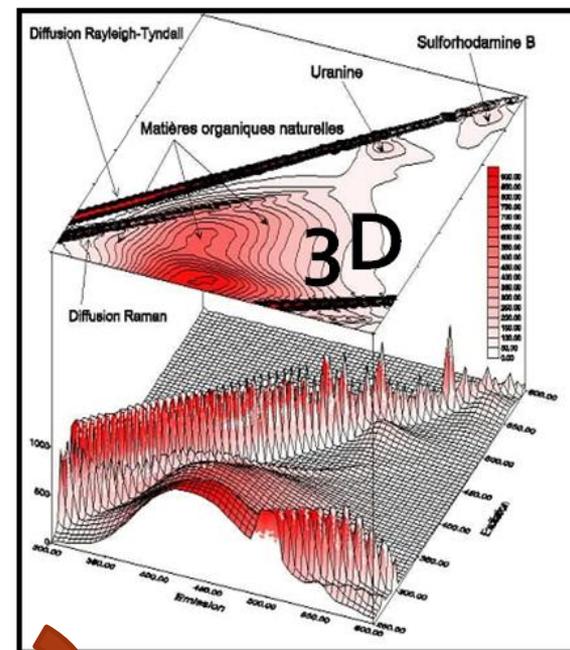
1D

Spectres d'émission, excitation ou balayage synchronisé



Information >>>

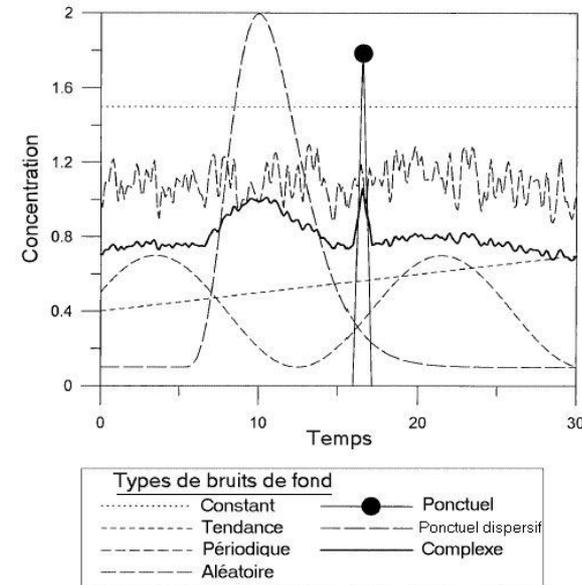
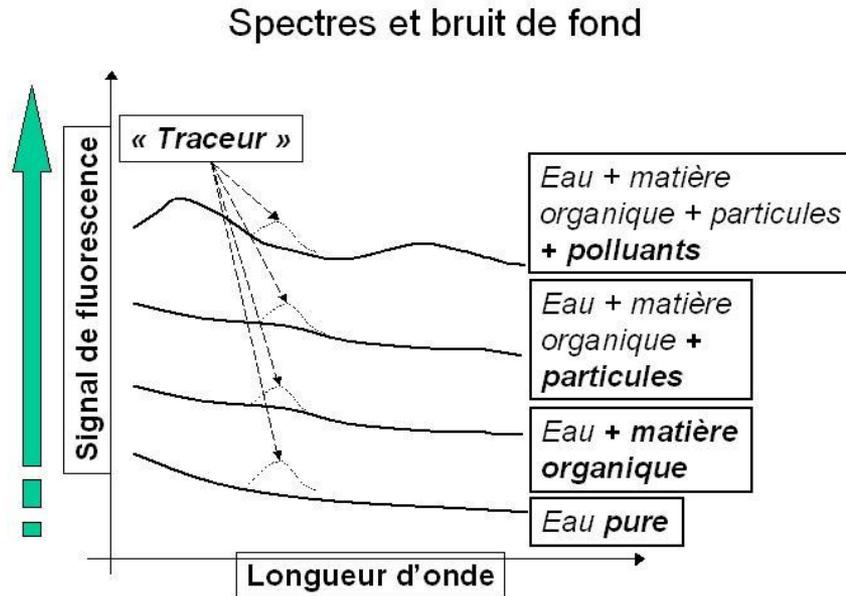
Spectres totaux (EEM)



Limites de détection instrumentales par spectrofluorimétrie dans l'eau ultra-pure

Traceur fluorescent	Limite de détection (ppb)
Uranine	0.002
Sulforhodamine B	0.006
Eosine	0.01
Tinopal	0.01
Acide amino G	0.02
Pyranine	0.02
Naphthionate	0.05
Photine	1

Limites théoriques car le traceur peut subir des modifications et surtout devoir être distingué du bruit de fond



- Le bruit de fond varie:
- spectralement
 - avec le temps

-> d'où l'on doit souvent chercher à détecter une restitution du traceur (et non le traceur lui-même) et ensuite seulement quantifier cette restitution

III Tout ce qui était des désavantages pour les traçages classiques peut être mis à profit lorsque l'on étudie des milieux pollués:

- ✓ la sensibilité des traceurs organiques aux conditions physico-chimiques du milieu (pH, potentiel rédox, TDS, teneurs en matières organiques du sol, TOC, DCO, DBO, quenching...);
 - ✓ la réactivité éventuelle des traceurs avec les polluants (traceurs partitionnaires, traceurs intelligents)
 - ✓ le bruit de fond de fluorescence qui peut être étudié intrinsèquement
- > d'où la nécessité absolue d'une approche plus quantitative (contrôlée et précise)

Mise en œuvre des traçages sur les sites pollués : principes

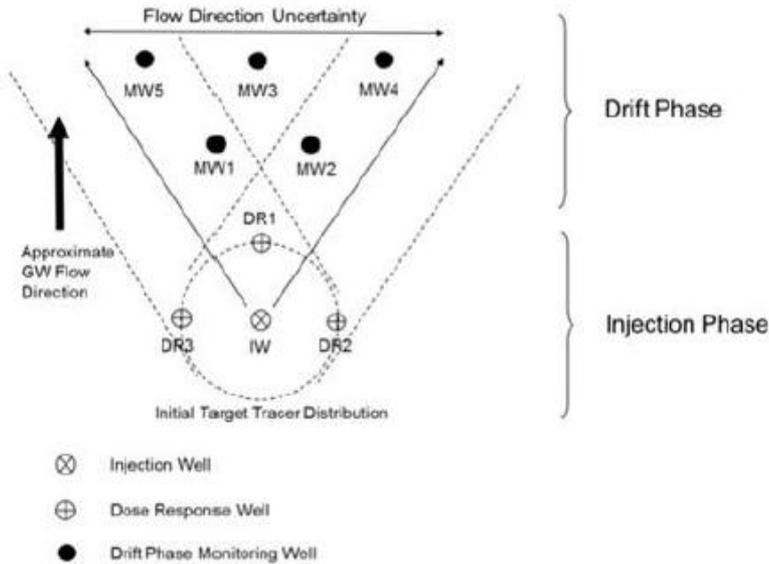
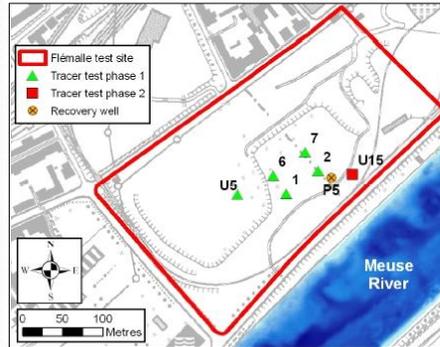
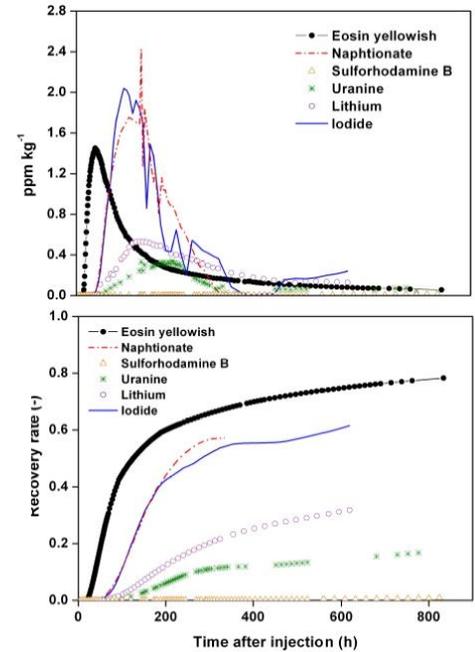


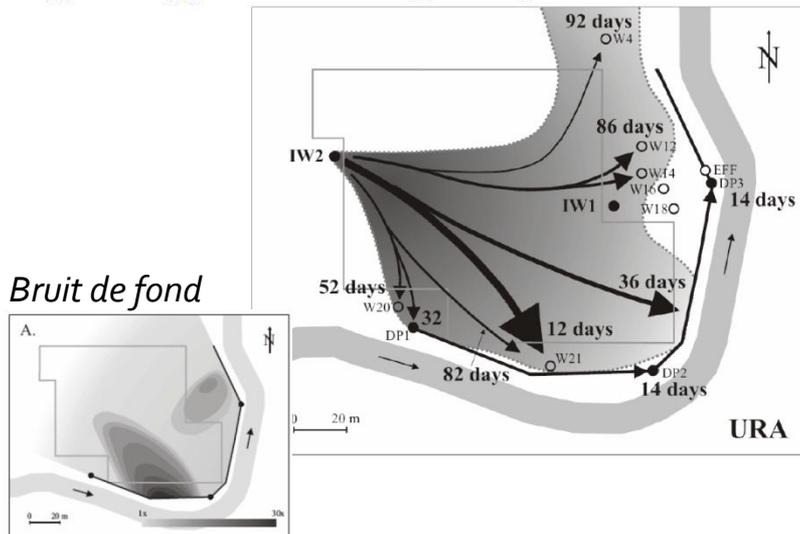
Fig. 1 A typical tracer testing well layout.

Selon le milieu, les distances de traçage et leurs configurations sont déterminants

- No arrival of tracers injected during phase I;
- Phase II: different recovery rates, reflecting specific properties of each tracer.

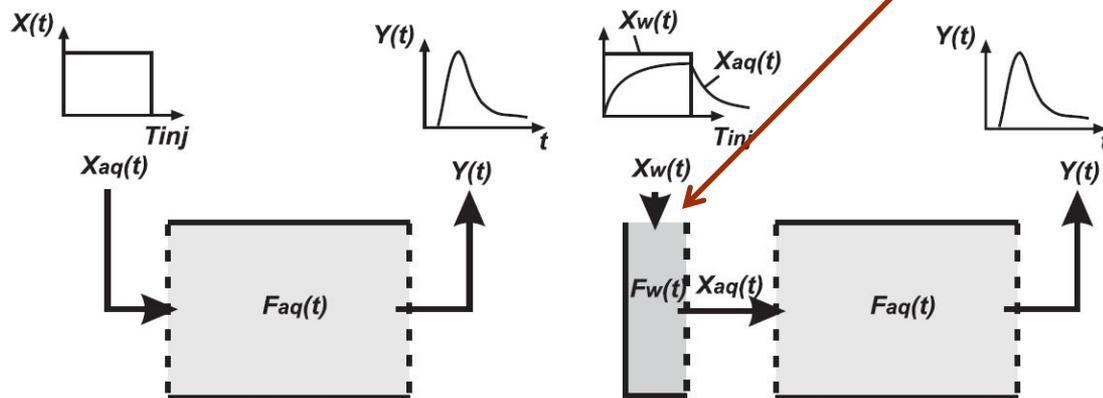


Souvent dipôle mais également puits unique (question d'échelle de temps ou simplement de disponibilité d'ouvrages)



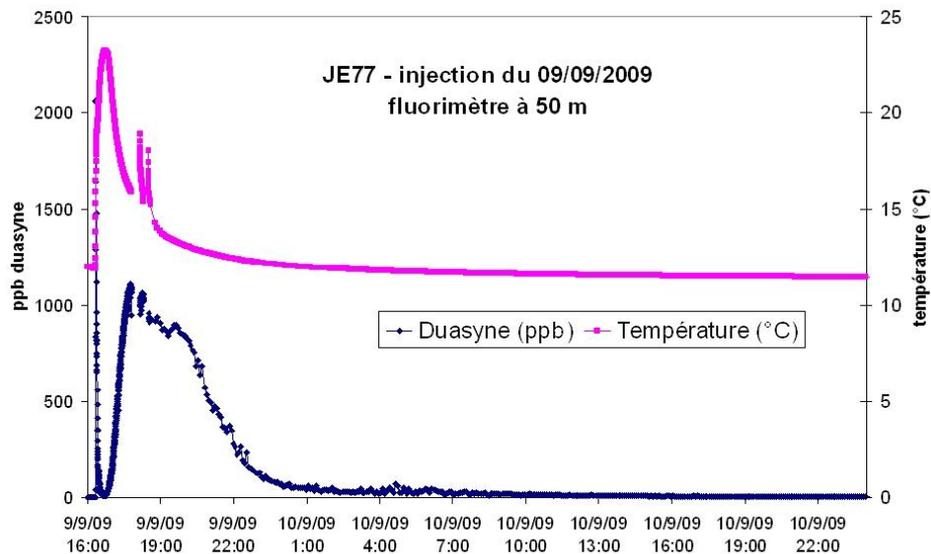
Fonction de transfert puits-aquifère à ne pas négliger, voir à contrôler au mieux via une chasse

La chasse contrôle en grande partie la fonction de transfert



Idéalement (a)

En réalité (b)



Résolution verticale des restitutions

Utilisation de packers et
d'échantillonnages/mesures in-situ
multi-niveaux

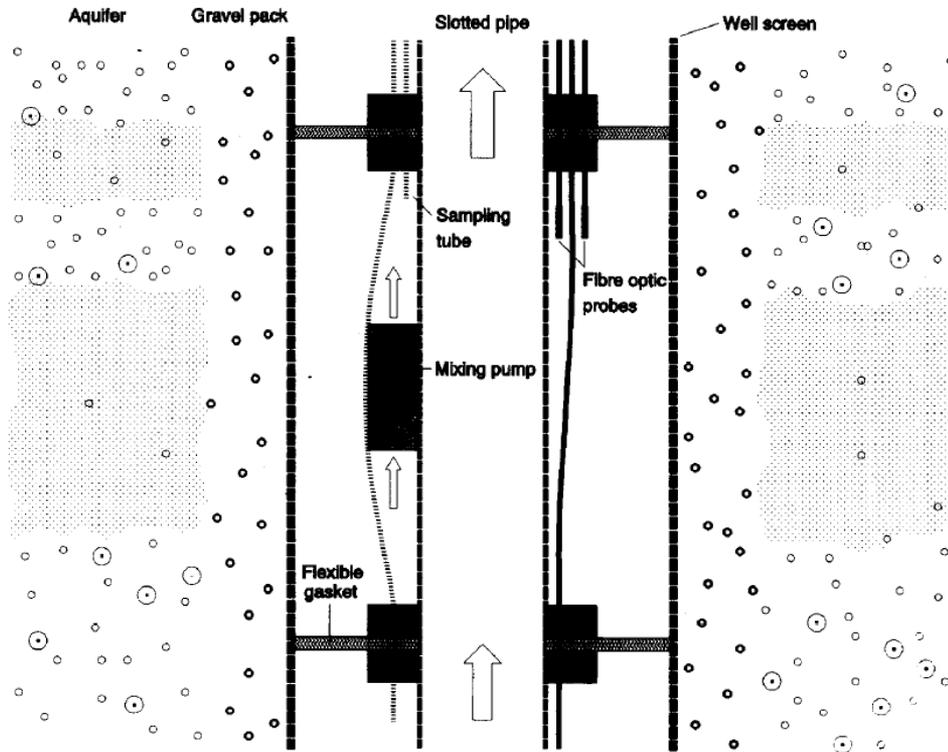


Fig. 3. A section of the multilevel packer system.

Utilisation d'un fluorimètre mobile

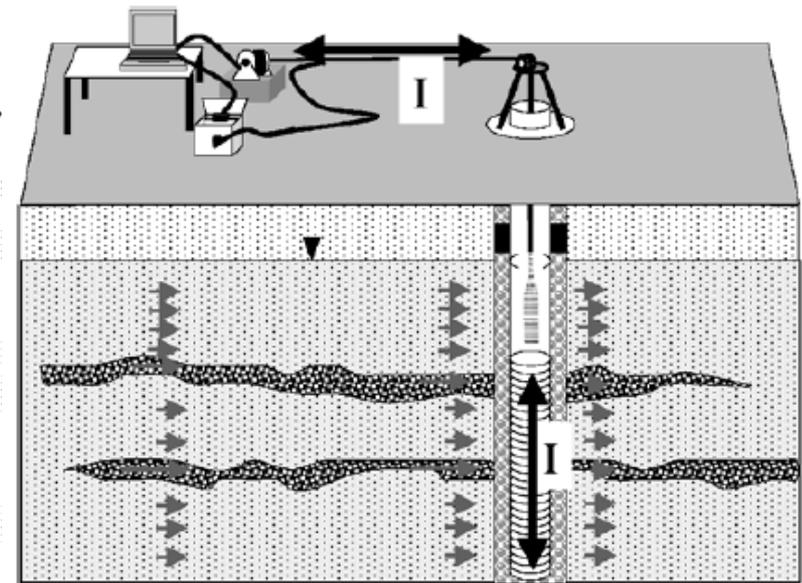
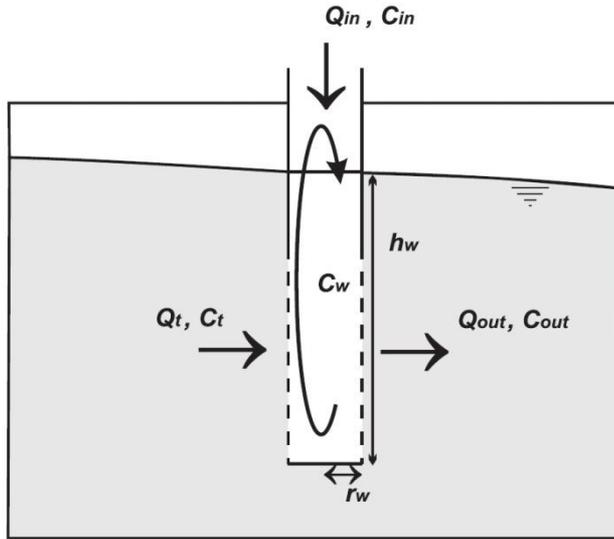


Fig. 2 Operation of the mobile field fluorometer. The multicore cable suspending the fluorometer in the borehole is attached to the programmable pulley cable. The pulley continuously releases and withdraws its cable over an interval I, which corresponds to the interval to be measured downhole

Méthodes en puits unique

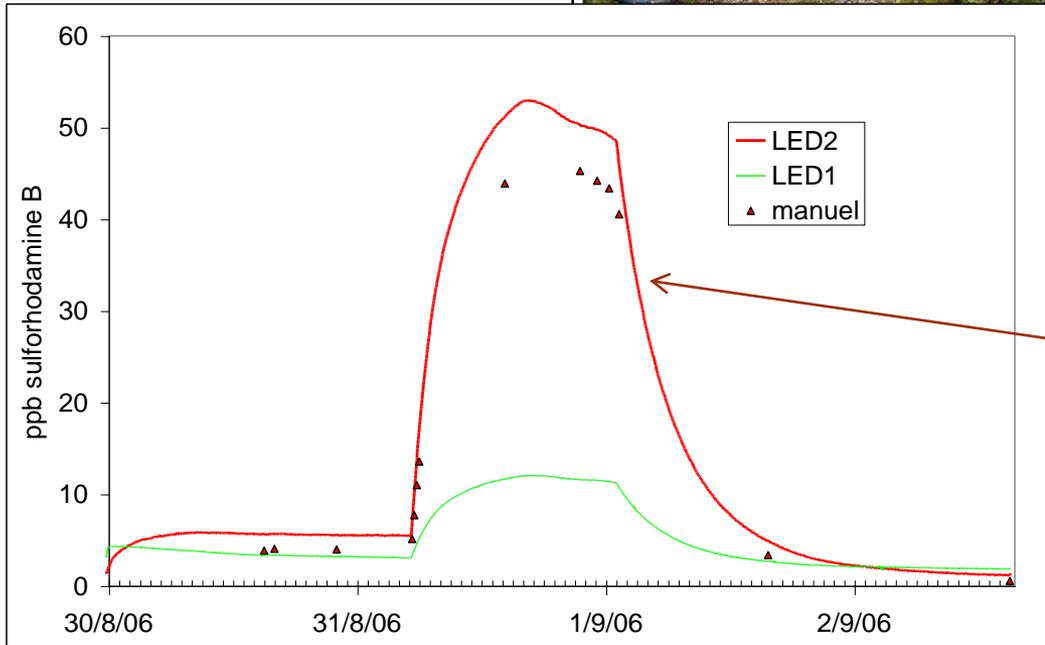
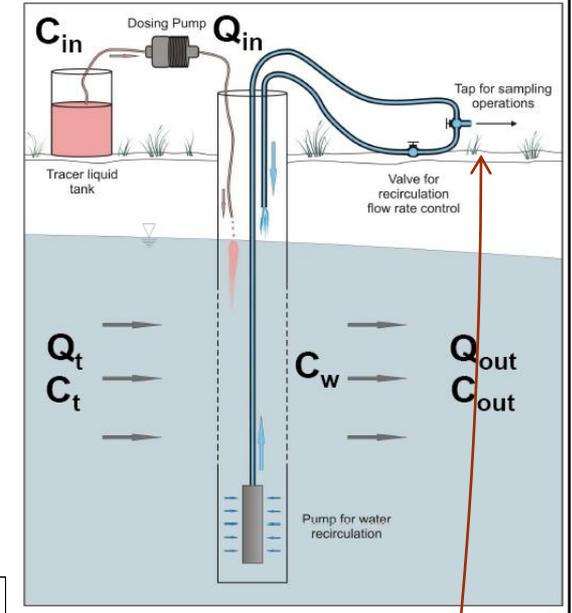


Finite Volume Point Dilution Method - FVPDM

(Brouyère et al. (2008). J. Contam. Hydrol. 95: 121-140)

Objectives

- Estimate groundwater Darcy fluxes in the vicinity of the injection well;
- Relate changes in river-stage to changes in groundwater flux.



Mesure par fluorimètre



Autres aspects à considérer



Injections en fouille

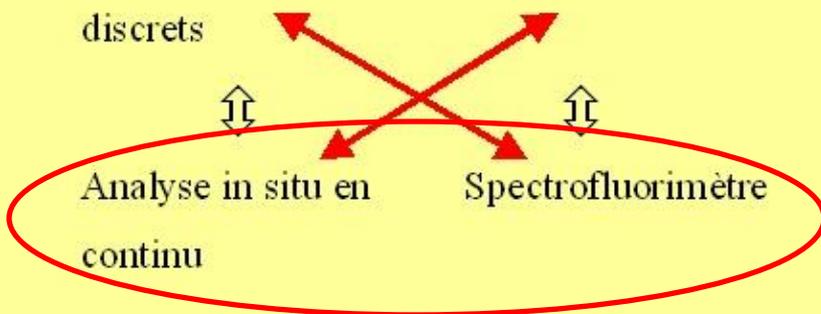


Pompes d'échantillonnage

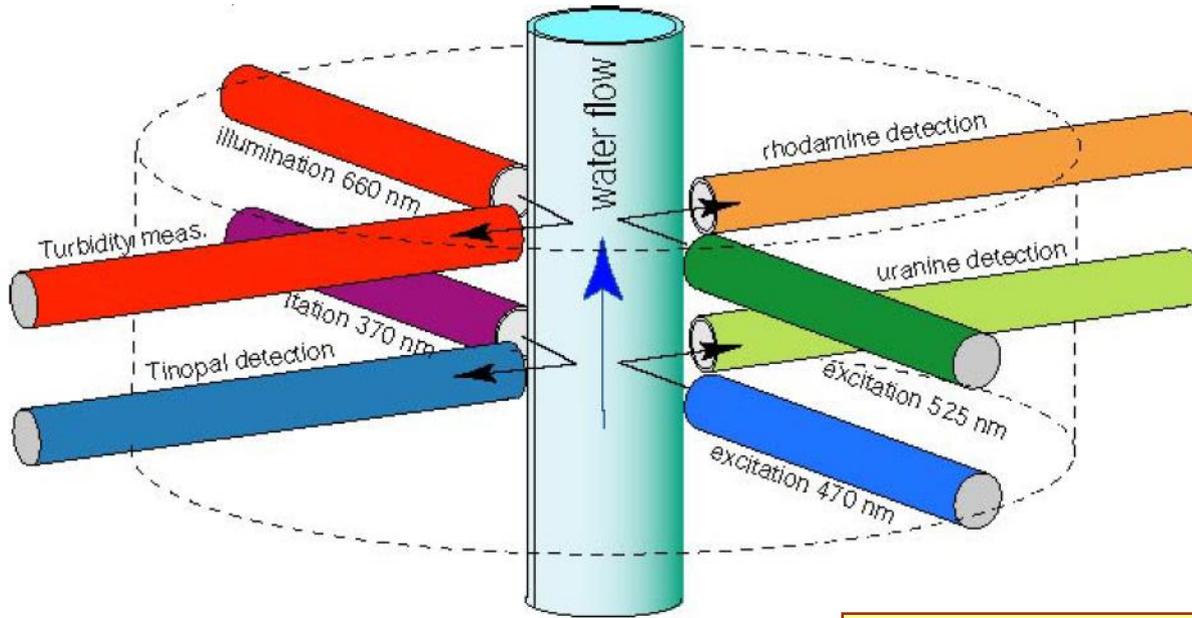


Méthodes de surveillance des traceurs fluorescents

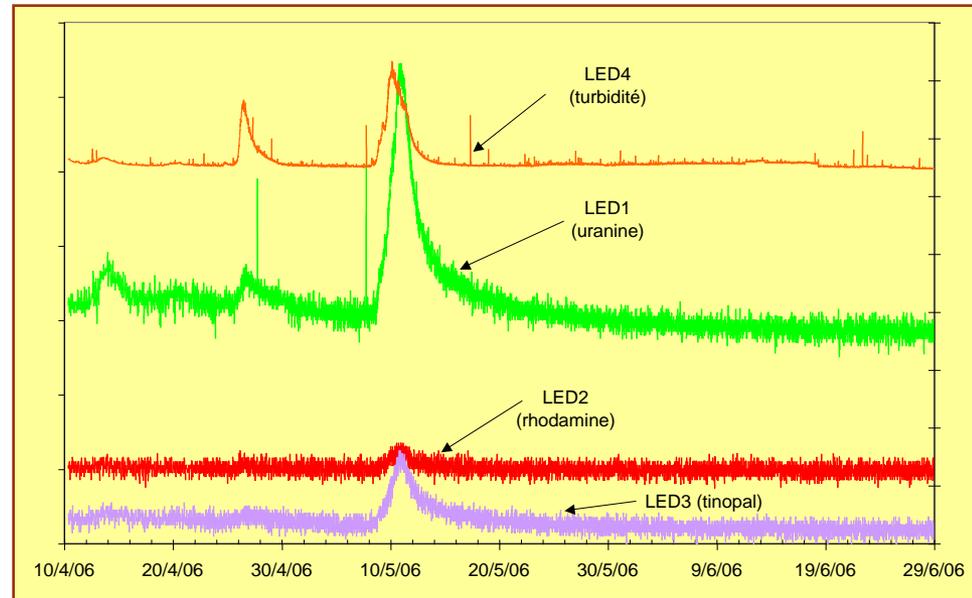
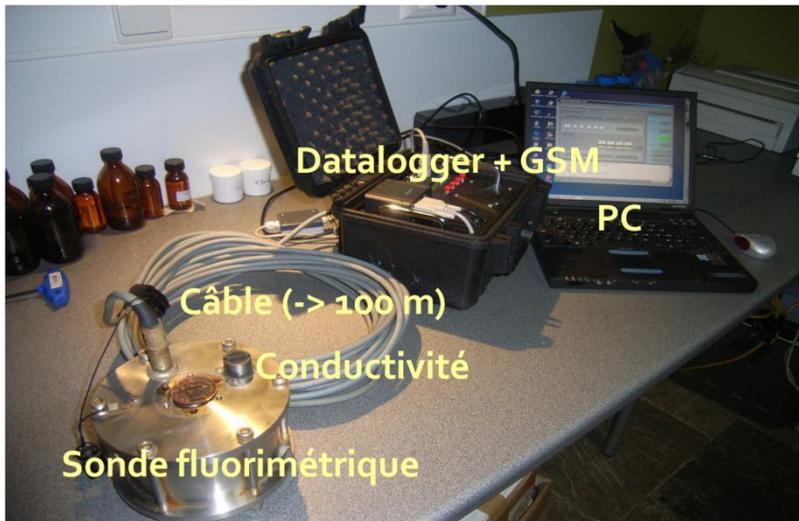
Approche du traçage	Aspects techniques			
	Echantillonnage	Analyse	Données complémentaires	Analyse des données
Qualitatif	Détecteurs au charbon actif	Visuelle	Aucune	Aucune
	⇕	⇕	⇕	⇕
Semi-quantitatif	Echantillons d'eau discrets	Fluorimètre à filtres	Observations	Analyse
	⇕	⇕	⇕	⇕
Quantitatif	Analyse in situ en continu	Spectrofluorimètre	Mesures (ex. conductivité)	Simulation



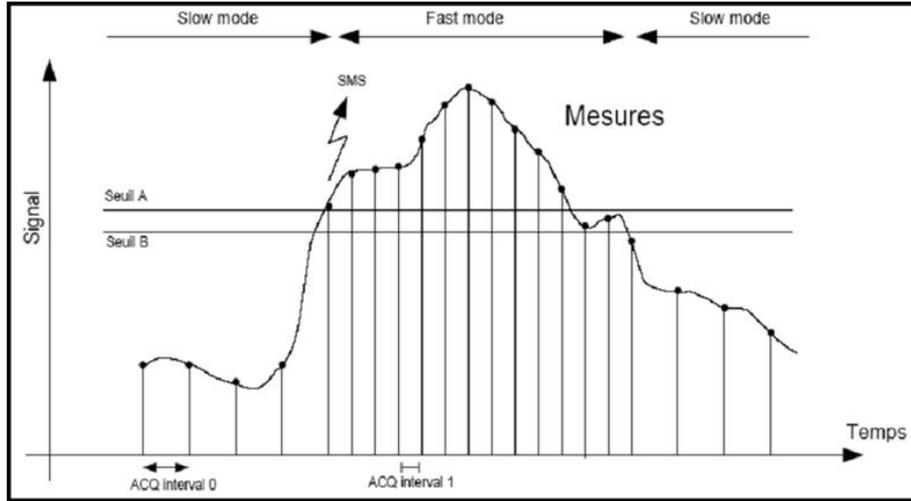
Fluorimètres



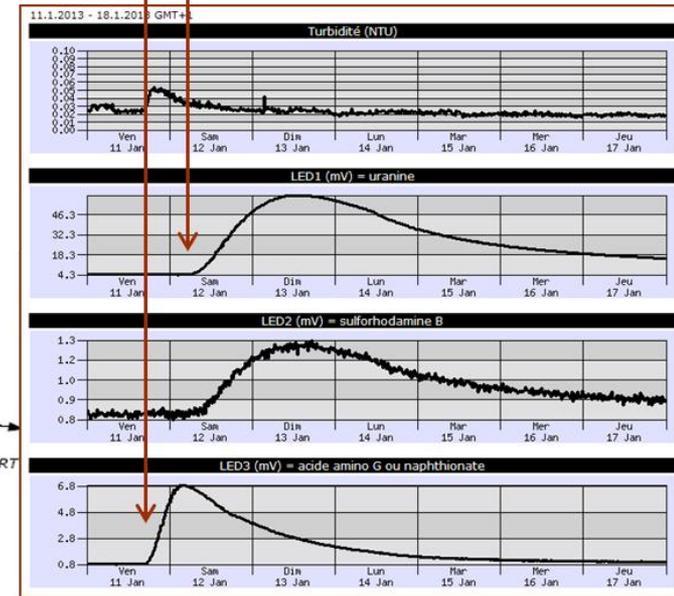
LEDs (nm)
280 -> HC
316 -> NAP
365 -> AGA, TIN
470 -> UR, EOS
525 -> RWT, SUB, SUG



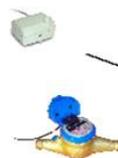
Datalogger téléométrique



Alarmes SMS



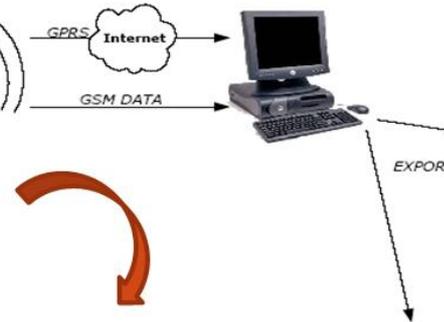
Modèle pour forage



- Radio
- 4-20 mA
- 0-3V
- 0-5V
- 0-10V
- impulsion
- RS-232
- RS-422/4
- IEC 1107
- GWFF Coder
- boucle CS



Modèle pour surface



Les erreurs en traçage

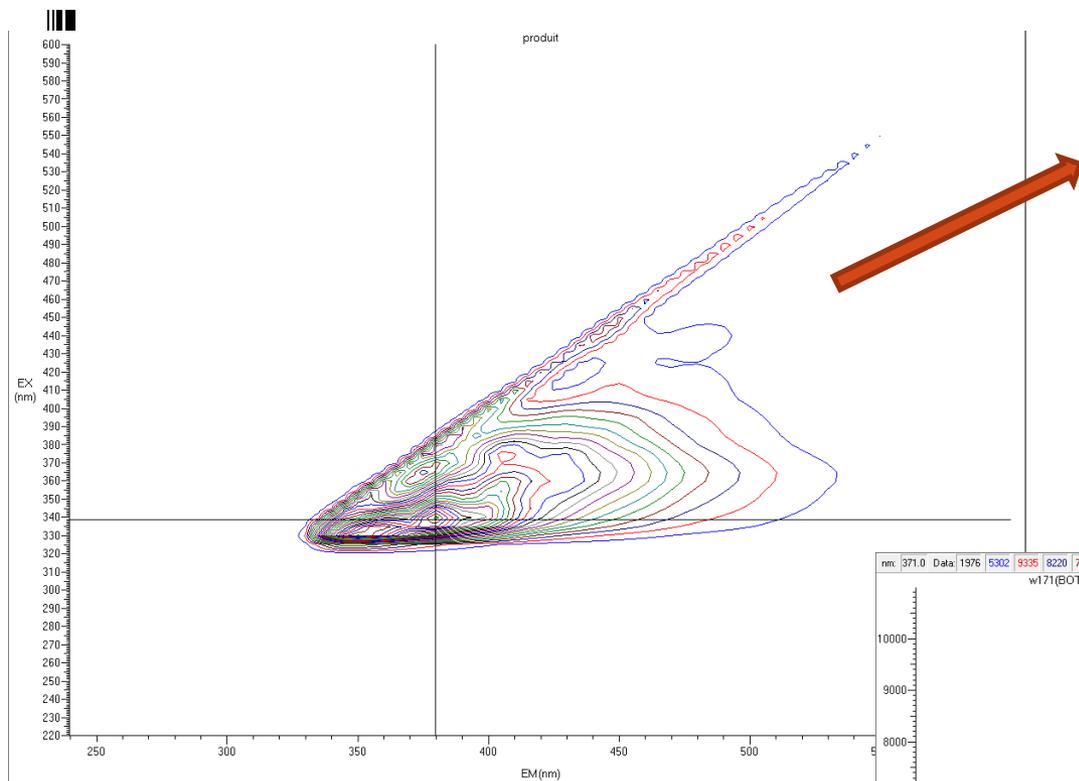


Sources of errors (in red = susceptible to contamination)	sampling/storage						measure/analysis								procedures				
	sampling s.s.	sampler (rinsing, previous uses)	transfer sampler -> bottles	bottles, packaging	labelling	storage (light)	extraction	transfer bottle -> cell	turbidity in situ	turbidity in sample	temperature	water pH (uranine)	cell fouling	instrument reproductibility	calibration	organics interferences	wrong product	blanks	sampling/measure interval
may cause serious errors may cause eventually errors no or little concern																			
Fluorescence spectrophotometer																			
In situ fluorimetry																			
Granular active charcoals (GAC)																			



Exemples et perspectives

Traçage dans une phase libre d'HC (kérozène)

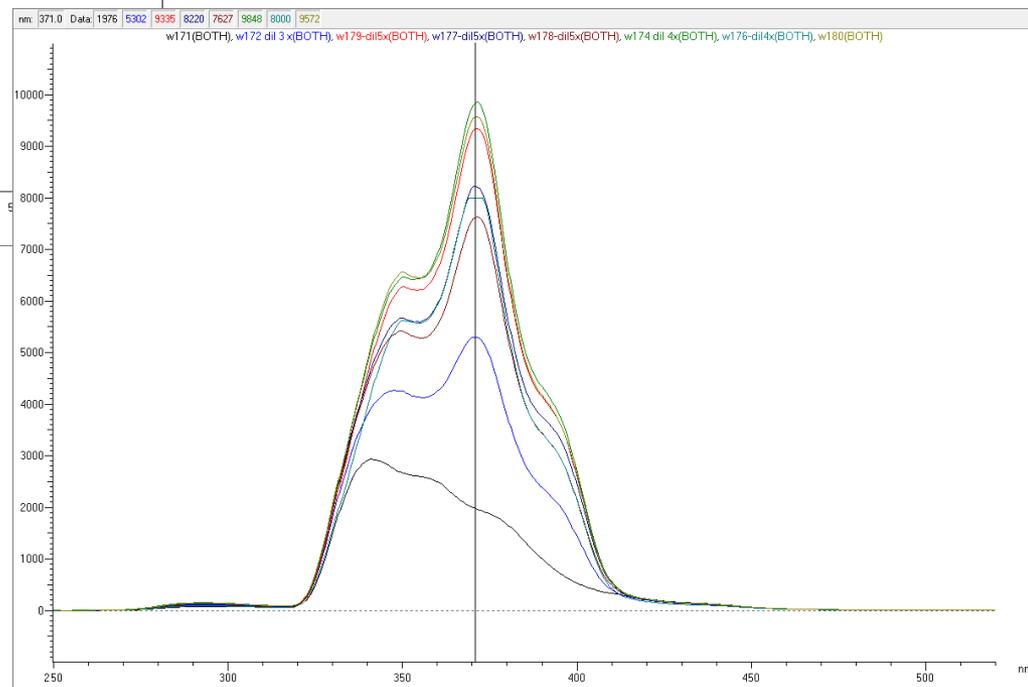


Tests au laboratoire:

- solubilité dans le produit
- intervalles optimaux de fluorescence

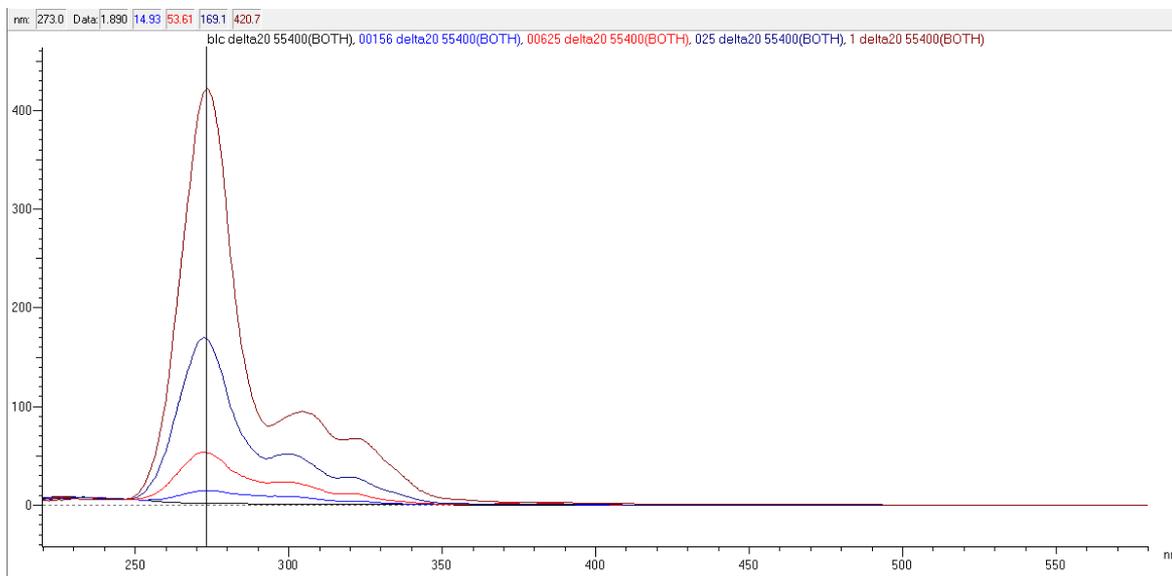


Spectres de fluorescence par balayage synchronisé des échantillons du traçage avec restitution du traceur azurant à 370 nm



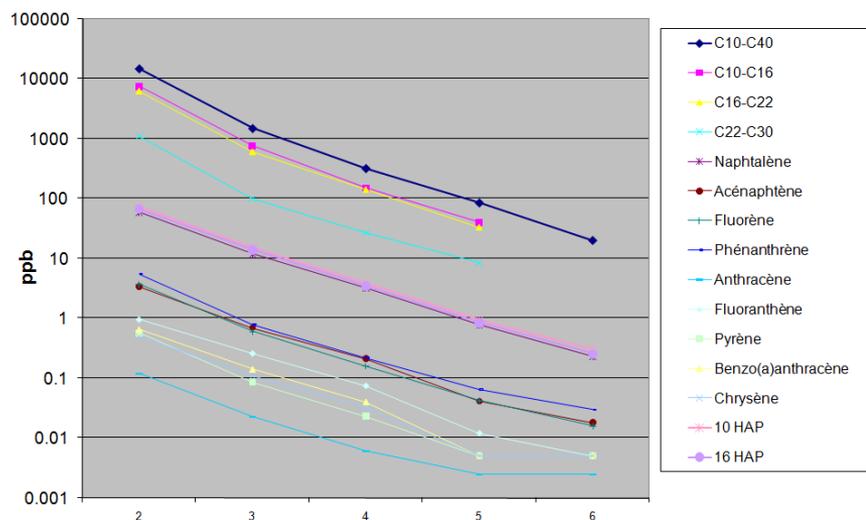
Spectre de fluorescence totale du produit

Etalonnage de fluorimètre pour la mesure du gasoil dans l'eau

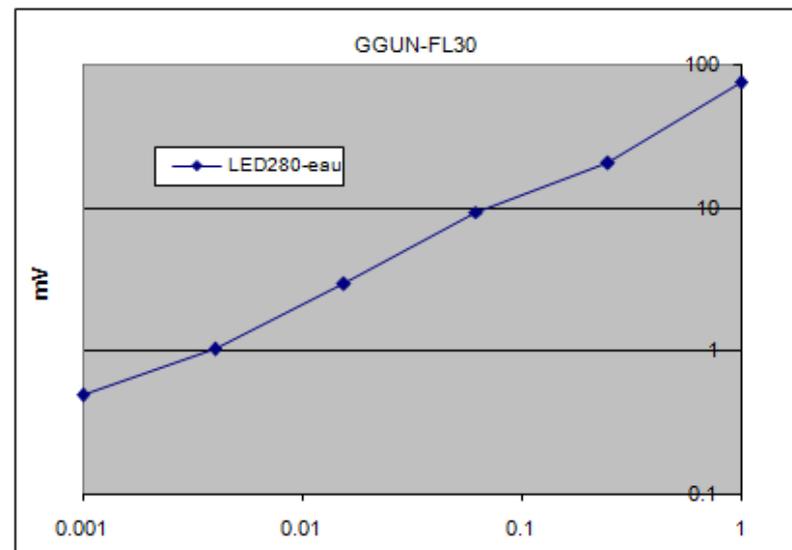


Spectres par balayage synchronisé de solutions de dilution croissante

Dosages par GC-MS



Etalonnage du fluorimètre avec EX à 280 nm



Etalonnage de l'uranine en présence d'essence dans l'eau

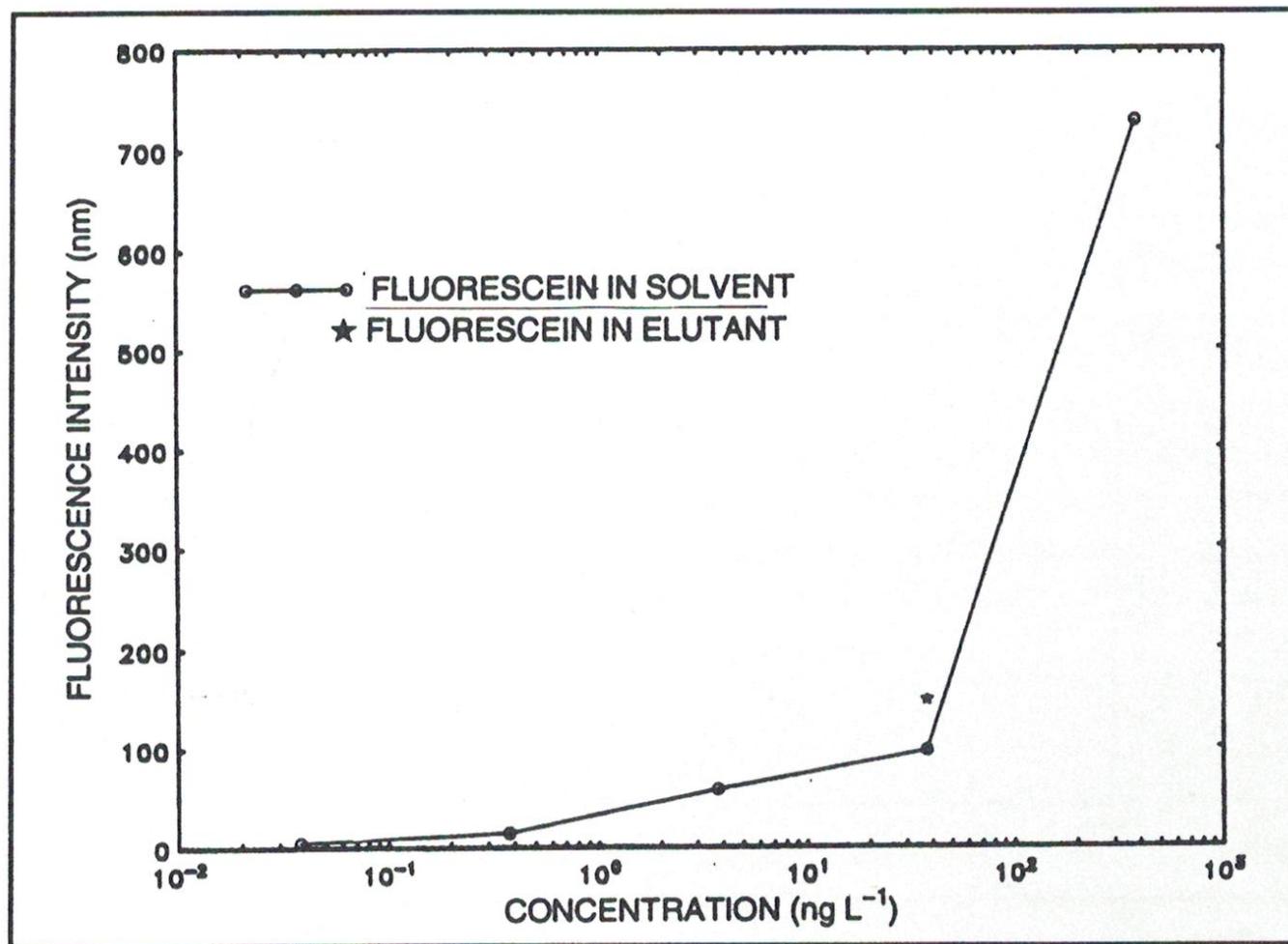
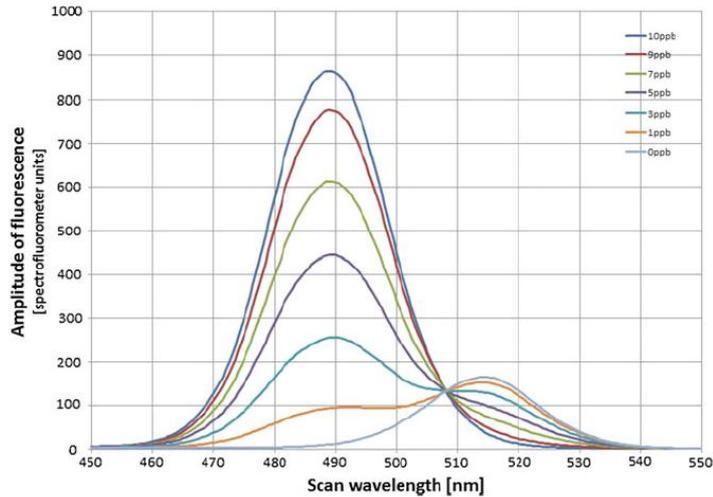


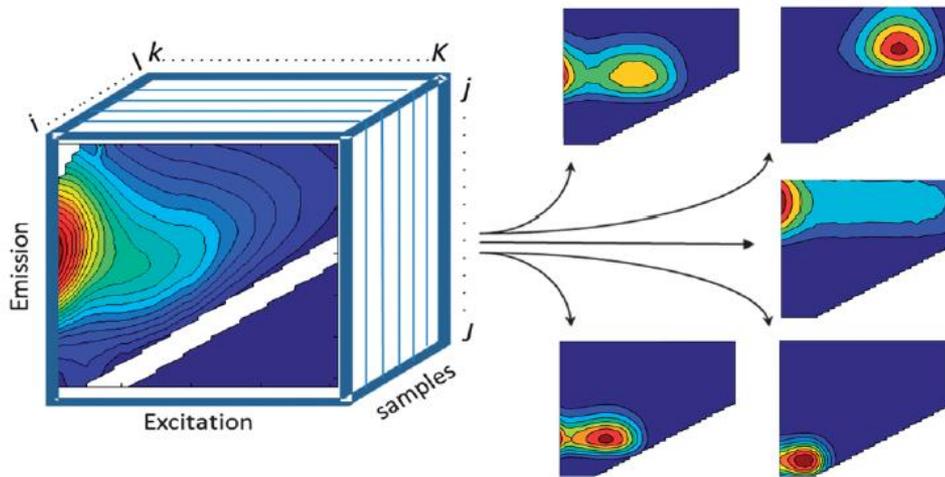
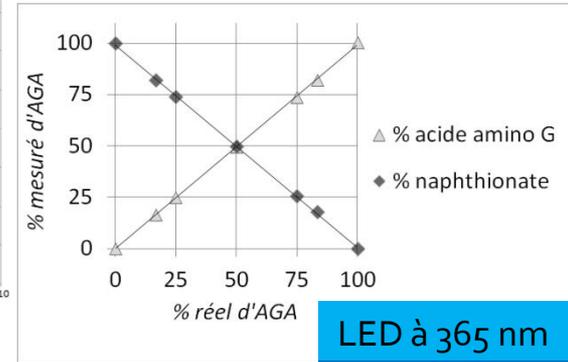
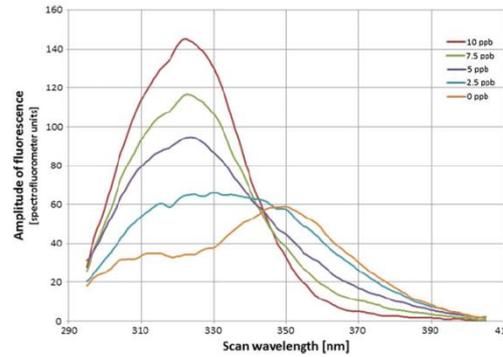
Figure 2. Plot of fluorescein concentration (ng L⁻¹) versus intensity for all dye dilutions analyzed in this study.

Méthodes de séparation spectrale (spectrofluorimètre et fluorimètre à filtre)

Séparation uranine-éosine



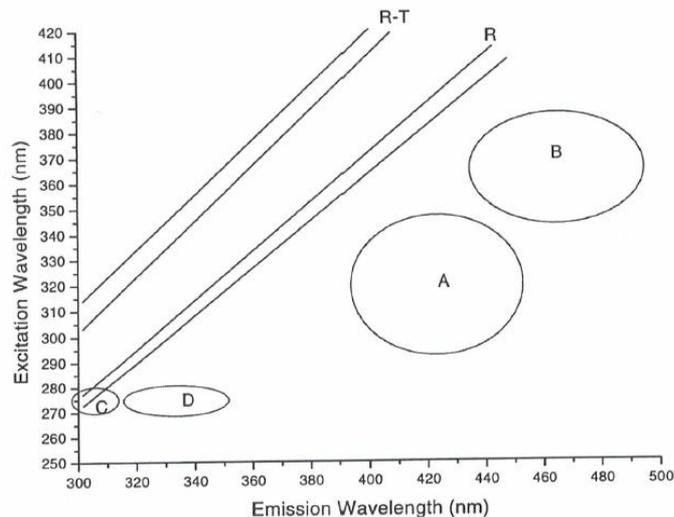
Séparation naphthionate-acide amino G au spectrofluorimètre et au fluorimètre à filtre



Méthode PARAFAC

Fig. 2 EEM dataset arranged in a threeway structure and decomposed into five PARAFAC components.

Fluorescence 3D des matières organiques



Identification des pics pour « tracer » les polluants organiques (effluents, lixiviats etc...)

Fig. 1. Fluorescence EEM for a hypothetical water sample, to show all possible fluorescence centres observable in farm wastes. (A) Fulvic-like (B) Humic-like (C) Tyrosine (D) Tryptophan. Tryptophan fluorescence occurs at 275 nm excitation; 350 nm emission; tyrosine fluorescence at 275 nm excitation; 305 nm emission; fulvic-like fluorescence at 320–340 nm excitation; 410–430 nm emission; and humic-like fluorescence at 370–390 nm excitation; 460–480 nm emission. Note also the linear features of Rayleigh–Tyndall (R–T) scatter at $\lambda_{ex} = \lambda_{em}$, and the Raman line (R) of water. Note the closeness of the tryptophan and tyrosine fluorescence centres, and the location of tyrosine fluorescence at the same location as the Raman line.

Application dans l'épuration
(abattement du COT)

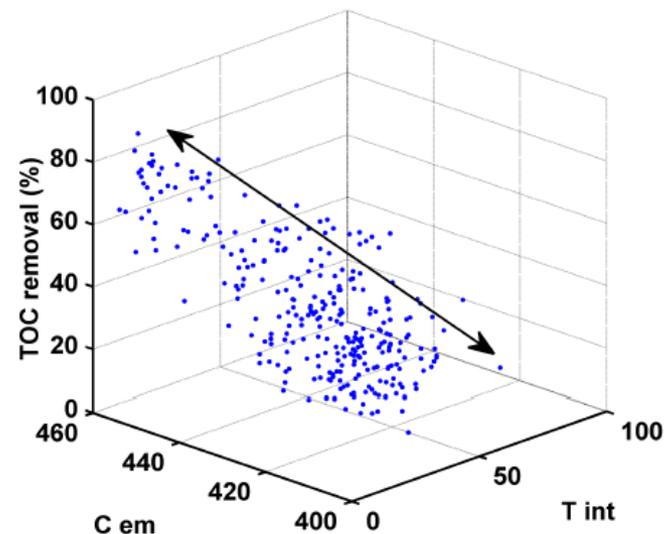
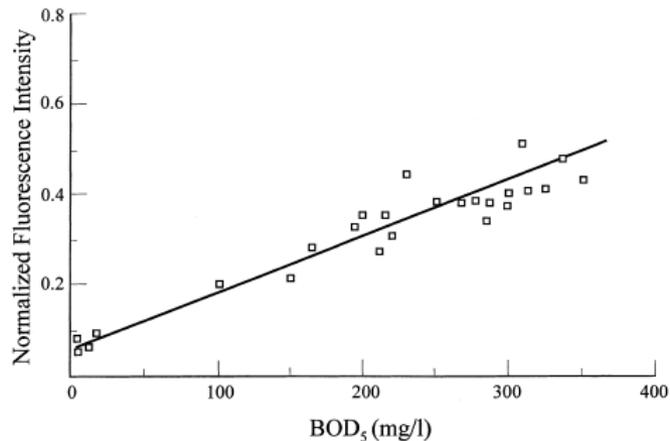


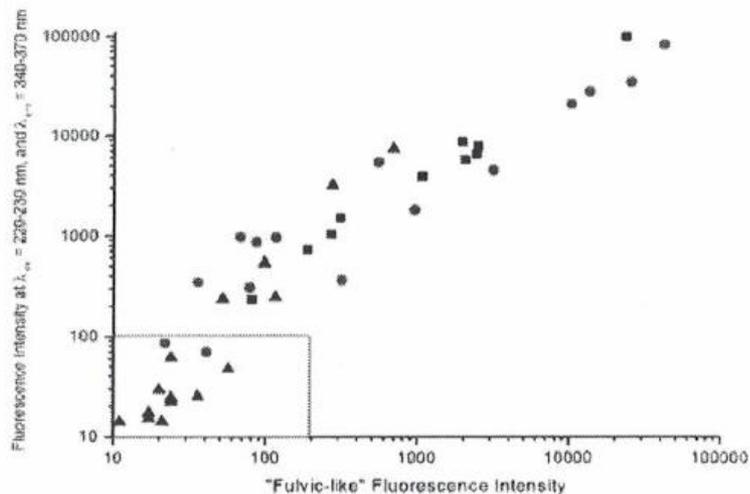
Fig. 3. Peak C emission wavelength (nm) and peak T intensity (arbitrary units) vs. TOC removal efficiency. Arrows indicate two fluorescence end-members.

Fluorescence dans les décharges



Corrélation entre fluorescence et DBO

Fig. 3. Plot of normalized fluorescence intensity at 340 nm against corresponding BOD₅ values (excitation wavelength = 248 nm).



Comparaison de la fluorescence des décharges avec celle des eaux naturelles

Fig. 3. Correlation between fluorescence intensity at the two main fluorophores. Black squares: site SB. Red circles: site B. Blue triangles: site JS. Red box is the range observed in ground and river waters (from [12,17]).

Fluorescence des HAP

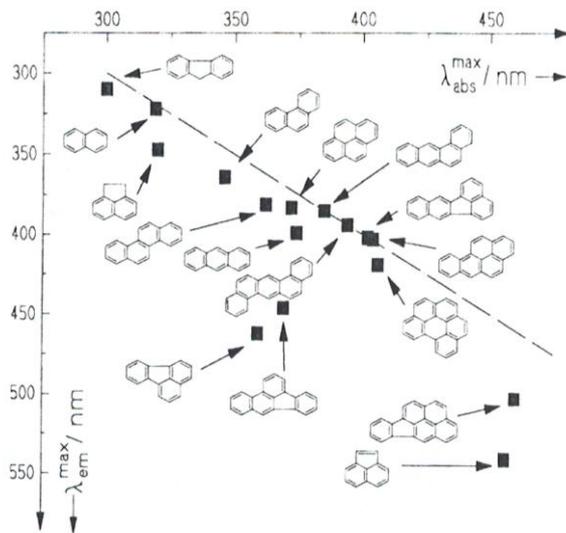
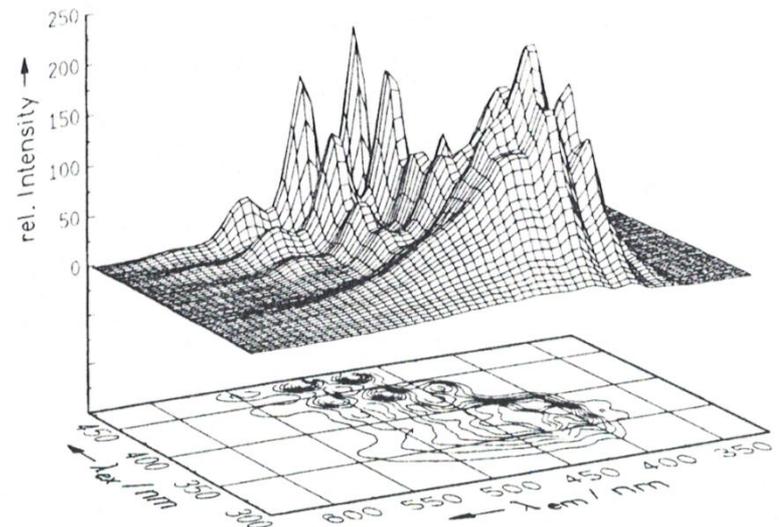


Fig. 1. Wavelength of lowest-energy absorption maximum (λ_{abs}^{max}) vs wavelength of maximum fluorescence intensity (λ_{em}^{max}) for the PAC of the EPA list (see also Table I).

Mélange HAP



- blank
- 0.2
- 0.3
- 0.4
- 0.5
- 0.6
- 0.8
- 1.0
- 1.2
- 1.5
- 1.8
- 2.0

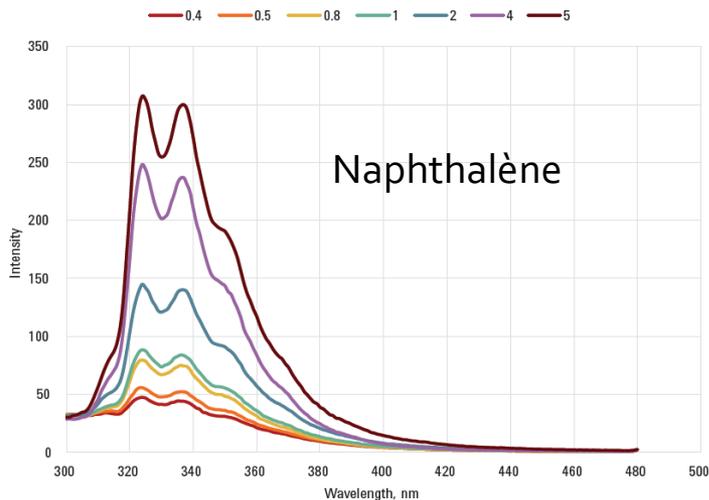


Figure 1: Fluorescence spectra of naphthalene, Ex. Wavelength 250 nm, Ex. Slit 10 nm, Em. Slit 5 nm. Figures in the legend denote final concentrations in $\mu\text{g/mL}$.

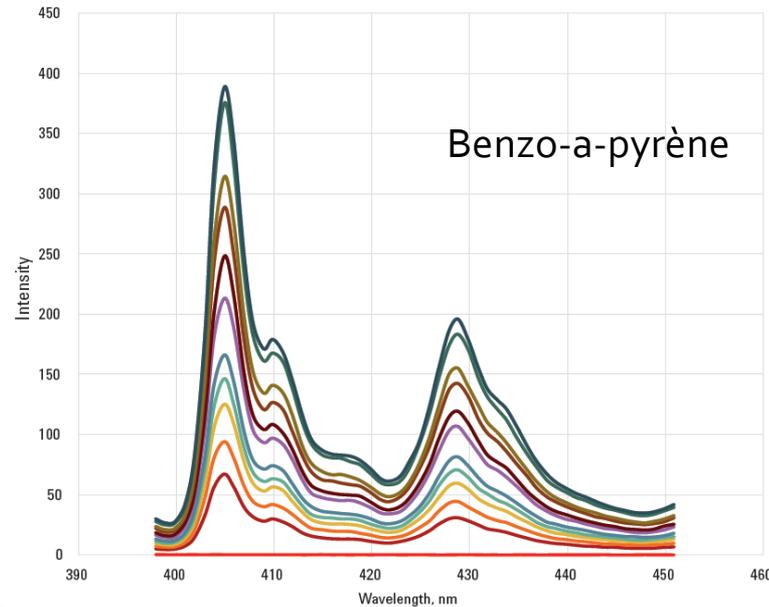
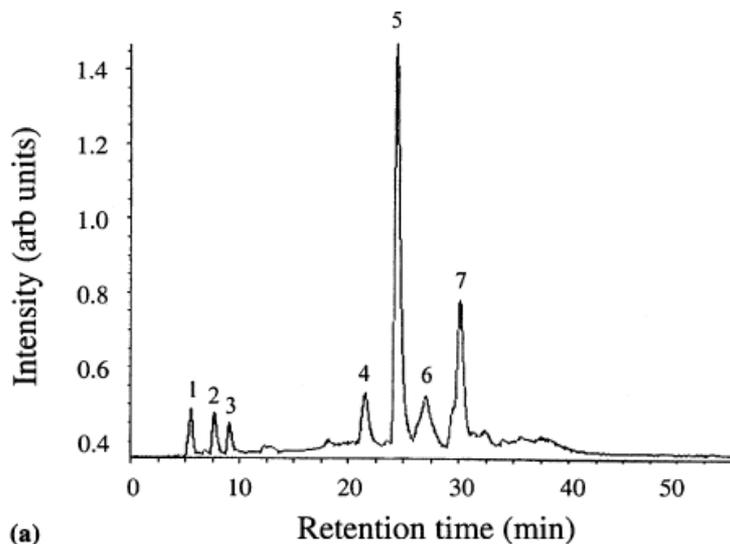
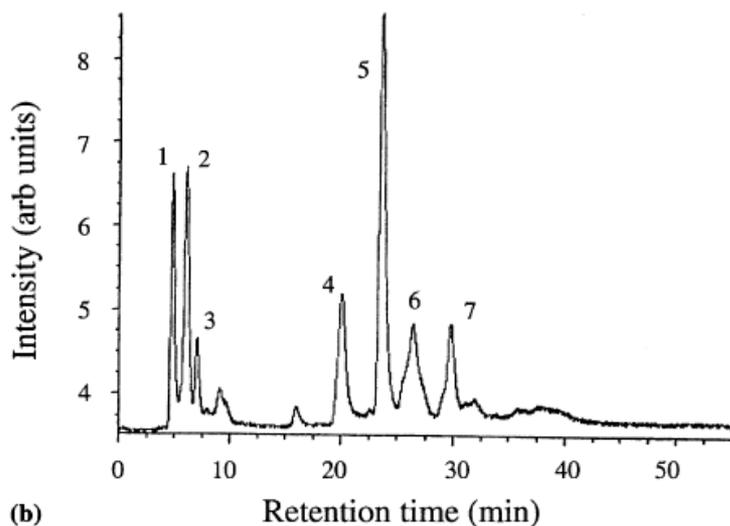


Figure 4: Fluorescence spectra of benzo[a]pyrene, Ex. Wavelength 268 nm, Ex. Slit 5 nm, Em. Slit 2.5 nm. Figures in the legend denote final concentrations in $\mu\text{g/mL}$.

Séparation des HAP dans des carburants et détection spectrale



(a)



(b)

Fig. 3 Fluorescence-detected HPLC chromatograms of the aqueous extracts of (a) Amoco and (b) Exxon premium gasoline using excitation at 254 nm and detection at 320 nm.

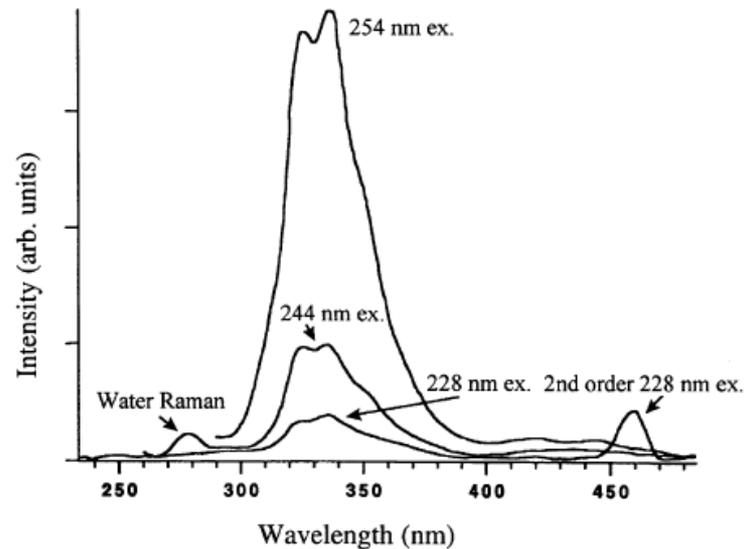


Fig. 4 Fluorescence spectra of fraction 5 in Fig. 3(a). $\lambda_{ex} = 228, 244,$ and 254 nm.

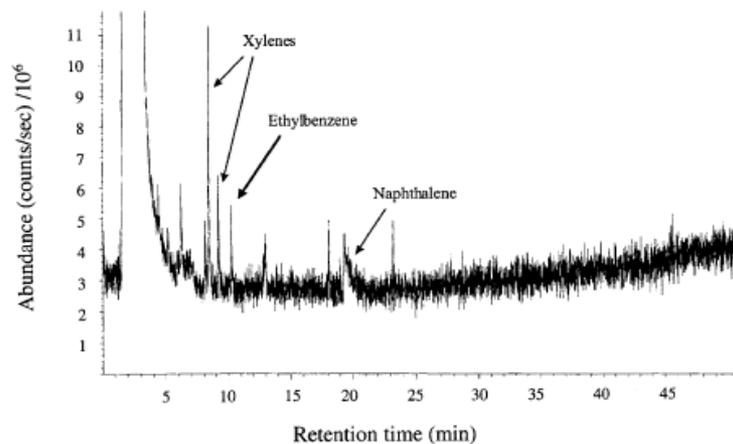
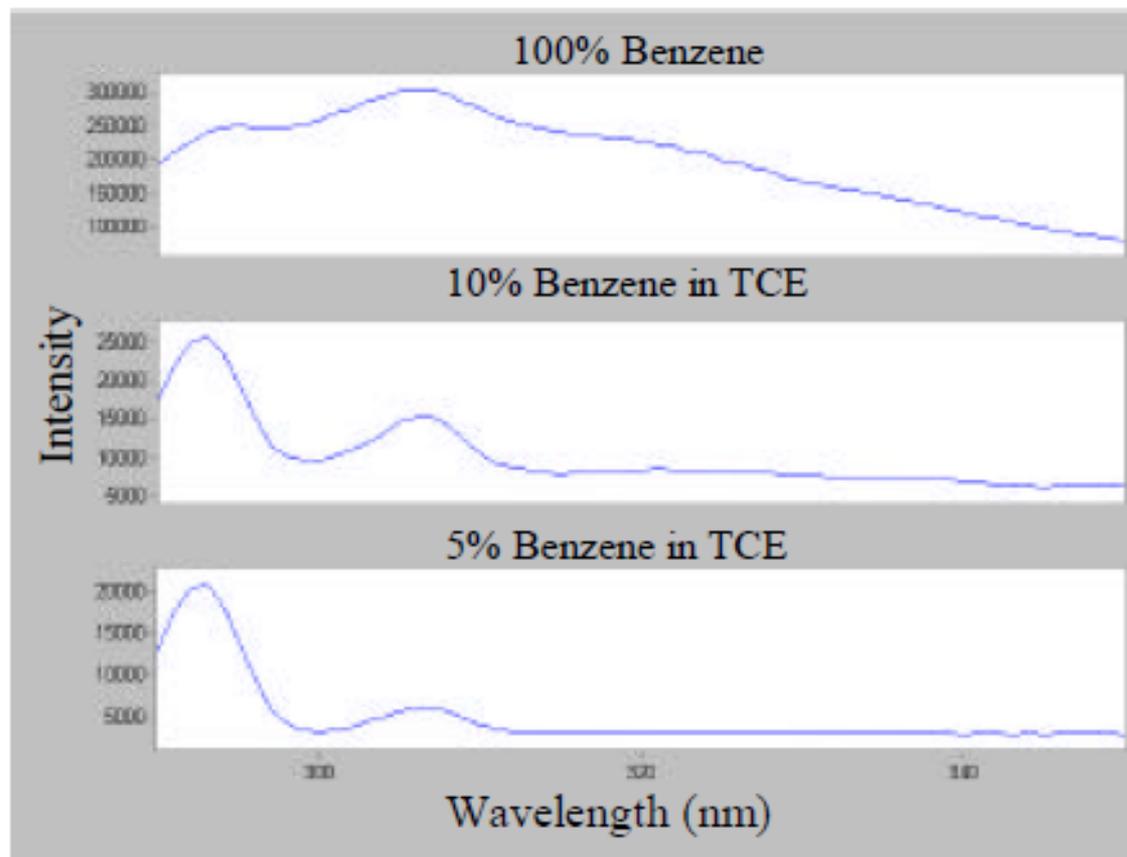


Fig. 5 Total ion chromatograph (40–350 m/z) of the compounds from fraction 5 of Fig. 3(a) after solid-phase extraction.

Fluorescence du benzène comme indicateur de pollution DNAPL

Figure 1. Benzene in TCE @ 290 nm



« Fingerprinting » de carburants

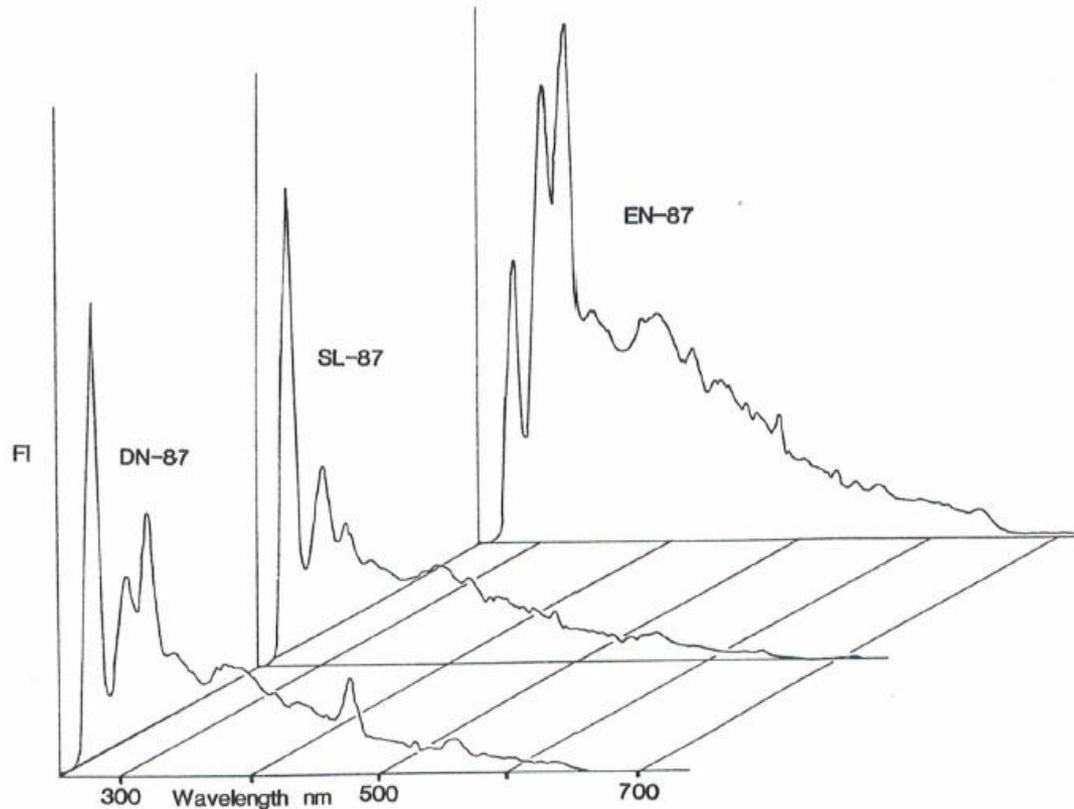


Fig. 2. Synchronous scanning fluorescence spectra using $\Delta\lambda = 5 \text{ nm}$ for three different brands of 87-octane regular gasoline: A is EN-87; B is SL-87; and C is DN-87.

Analyses du BaP dans les sols par extraction et fluorescence dans un solvant

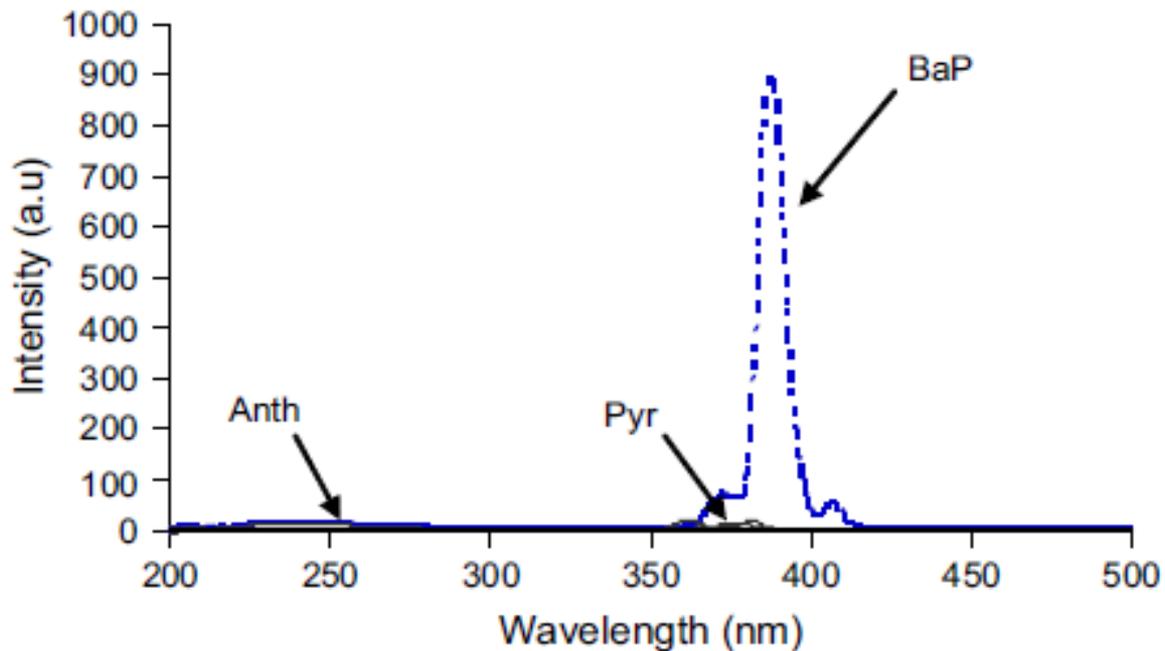
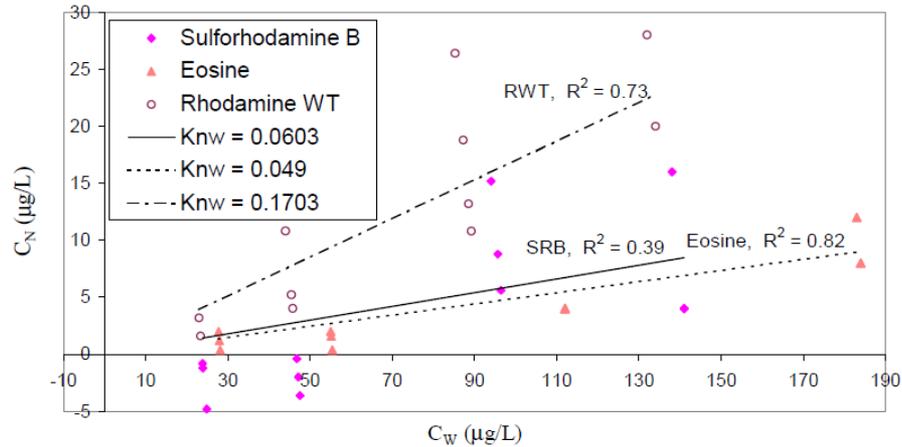


Fig. 3. Synchronous fluorescence spectra of standards of PAHs (5×10^{-8} g/ml) at $\Delta\lambda = 20$ nm in 7.8 mmol/l of CTAB micellar medium (band-pass = 5 nm).

Traceurs partitionnaires



Isothermes des traceurs fluorescents – partitionnement eau/PCE

Figure 1. Linear Sorption Isotherms for PCE and Fluorescent Tracers

Contrôle de l'efficacité de la remédiation par traçage partitionnaire

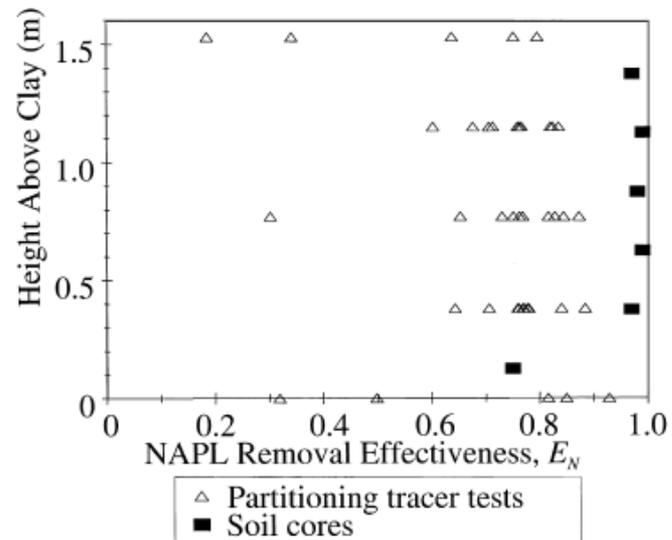


Fig. 4. Comparison of NAPL removal effectiveness estimated using soil-core analysis and partitioning tracer tests (adapted from Sillan et al., 1998a).

Autres polluants: phénols, pesticides...

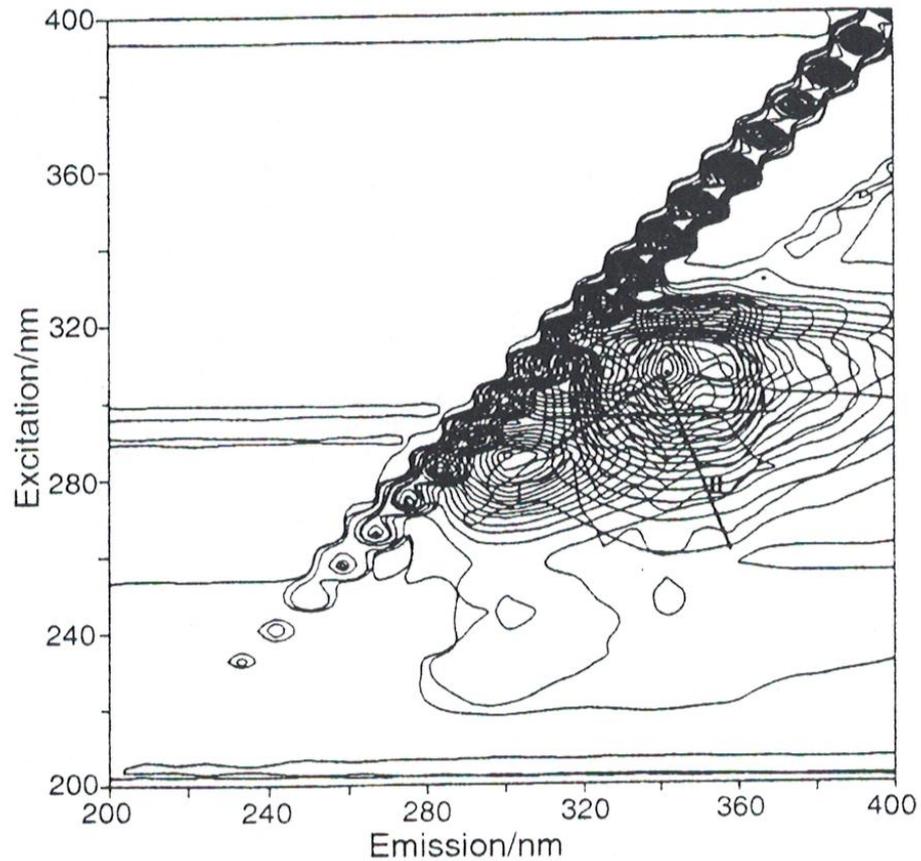


Fig. 5 Overlapped contour maps of the fluorescence spectra of standards of 50 ng ml^{-1} of carbendazim, 0.52 ng ml^{-1} of fuberidazole and 22 ng ml^{-1} of thiabendazole with cross-section CSI and CSII.



Merci pour votre attention et à votre disposition pour toute question!

