

Assainissement biologique d'un site contaminé au PER et TRI

Daniel Hunkeler, Centre d'Hydrogéologie et de Géothermie, Université de Neuchâtel

Description du site

Le site d'étude est une ancienne usine de cadrans de montres (Figure 1), situé dans le Jura Bernois. Le sous-sol est fortement hétérogène et se compose de dépôts morainiques, de sédiments fluvio-glaciaires et d'éboulis de pentes (Figure 2). Le niveau de la nappe varie de plusieurs mètres par années (Figure 2).

Source de pollution

L'usine avait utilisé des solvants chlorés, essentiellement du trichloroéthène (TRI) et du tetrachloroéthène (PER), dans plusieurs bâtiments (Figure 1) et des tonneaux de solvants étaient stockés à l'extérieur dès 1965. Une pollution du sous-sol par du TRI (environ 80%) et du PER (environ 12%) a été constatée en 1992 et estimée à plusieurs 100aines de kg de solvants.

Méthodes d'assainissement

Comme première méthode d'assainissement, une méthode d'extraction double phase (eau, air) a été choisie et mis en œuvre en 1998. Avec cette méthode environ 200 kg de solvants ont été extraits, mais comme souvent observé, le rendement diminuait avec le temps (Figure 3) dû à des processus de diffusion et désorption lente dans le matériel peu perméable. Pour traiter la pollution résiduelle, un assainissement par biodégradation in-situ a été choisi. Pour favoriser une dégradation complète du PER et du TRI en éthène et éthane, des conditions fortement réductrices sont nécessaires. Pour créer ces conditions, l'injection d'un donneur d'électron est nécessaire. Le choix du donneur d'électron s'est porté sur de la mélasse diluée dans l'eau. La solution de mélasse est injectée dans sept piézomètres IN1 à IN7 et de l'eau souterraine est extraite en aval dans quatre puits PP1 à PP4 (Figures 4 et 5).

Programme de suivi de la méthode biologique

Environ chaque deux mois, des échantillons d'eau étaient prélevés dans les puits de pompage (PP1 à PP4) et dans deux forages à l'aval du site pollué et les paramètres suivants ont été mesurés :

- Paramètres de terrain : Conductivité électrique, pH, O₂, potentiel de redox
- Hydrochimie générale: Concentrations en Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, Fe²⁺, Mn²⁺
- Concentrations des éthènes et éthanes chlorés
- Concentrations d'éthène, éthane et méthane
- Isotopes stable de carbone dans les éthènes et éthanes chlorés

Partenaires

Caractérisation du site, gestion du projet et suivi de l'assainissement : Bureau JF Mages, La Neuveville

Conception assainissement biologique : Entreprise SOLEO Services, Mézières/Seine, France

Analyses isotopiques et analyses des gaz dissous : Centre d'Hydrogéologie et de Géothermie (CHYN), Université de Neuchâtel.

Questions :

- 1) Est-ce que les conditions d'oxydo-réduction sont favorables pour une dégradation complète du PER et du TRI ?**
- 2) Est-ce qu'une dégradation complète du PER et du TRI a lieu ?**
- 3) Quelles sont les avantages et désavantages des différents indicateurs (paramètres de redox, concentrations en chloroéthènes, concentrations en éthène, isotopes) pour évaluer et quantifier le taux de biodégradation?**

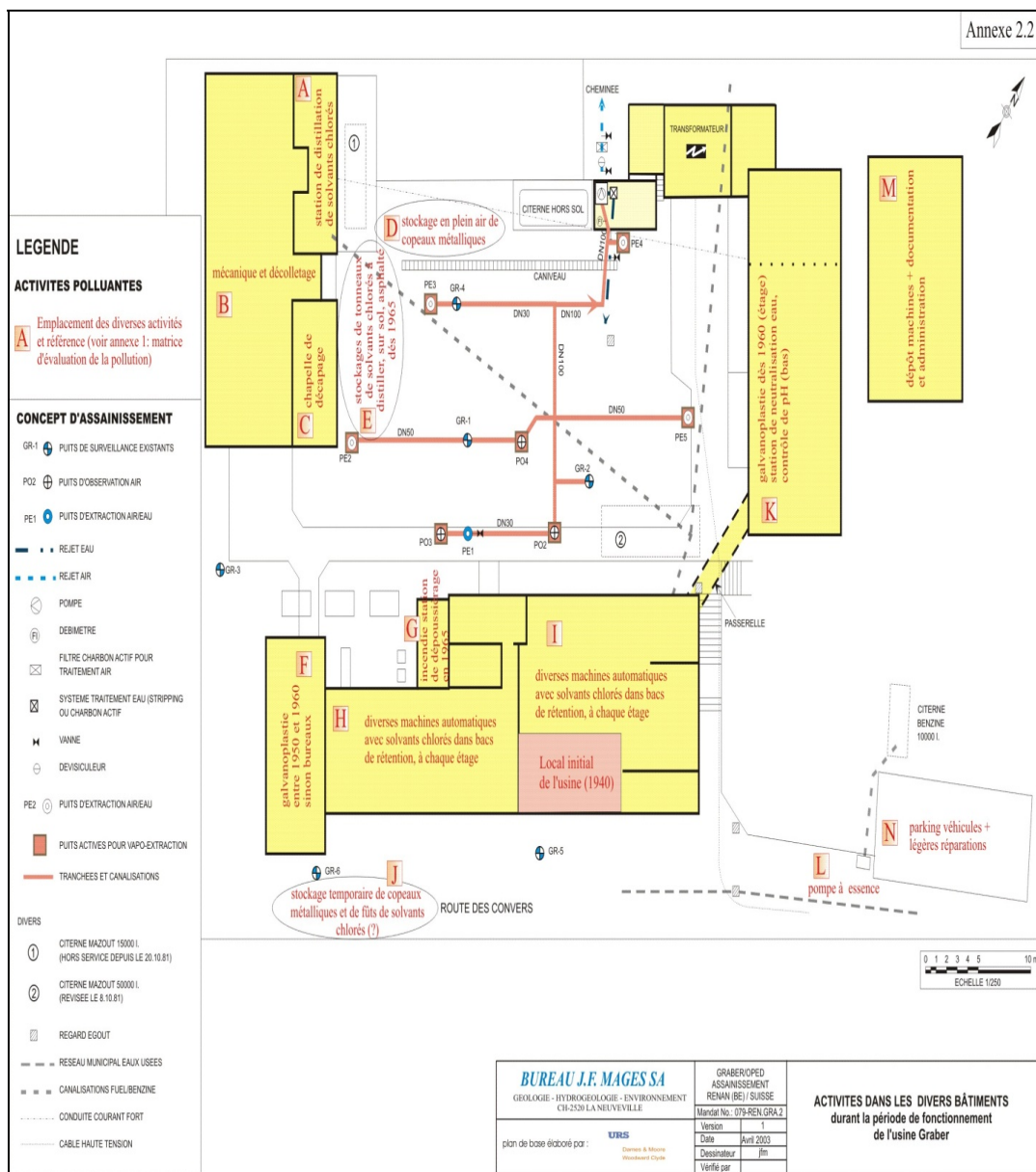


Figure 1: Plan de l'usine de cadrans de montres avec résumé de l'investigation historique. Installations utilisées dans la phase d'assainissement par extraction à double phase (Source : Rapport Bureau JF Mages).

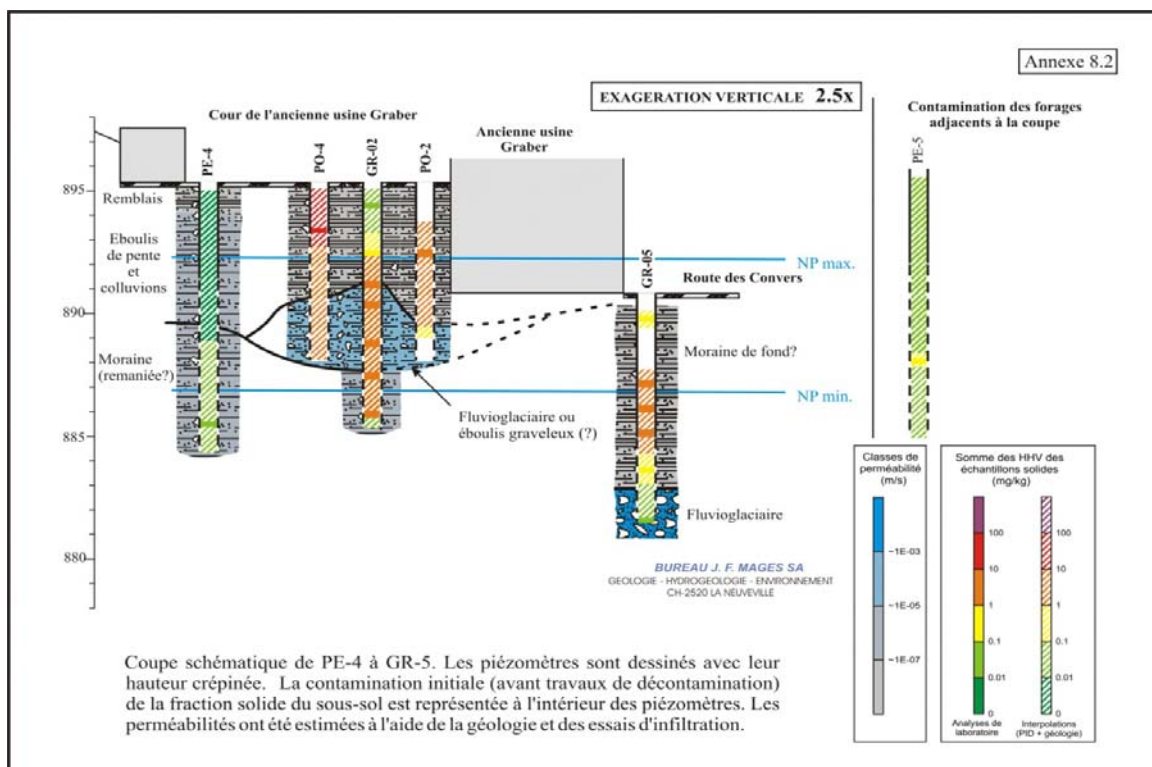


Figure 2: Coupe schématique avec taux de contamination initiale (Source : Rapport Bureau JF Mages).

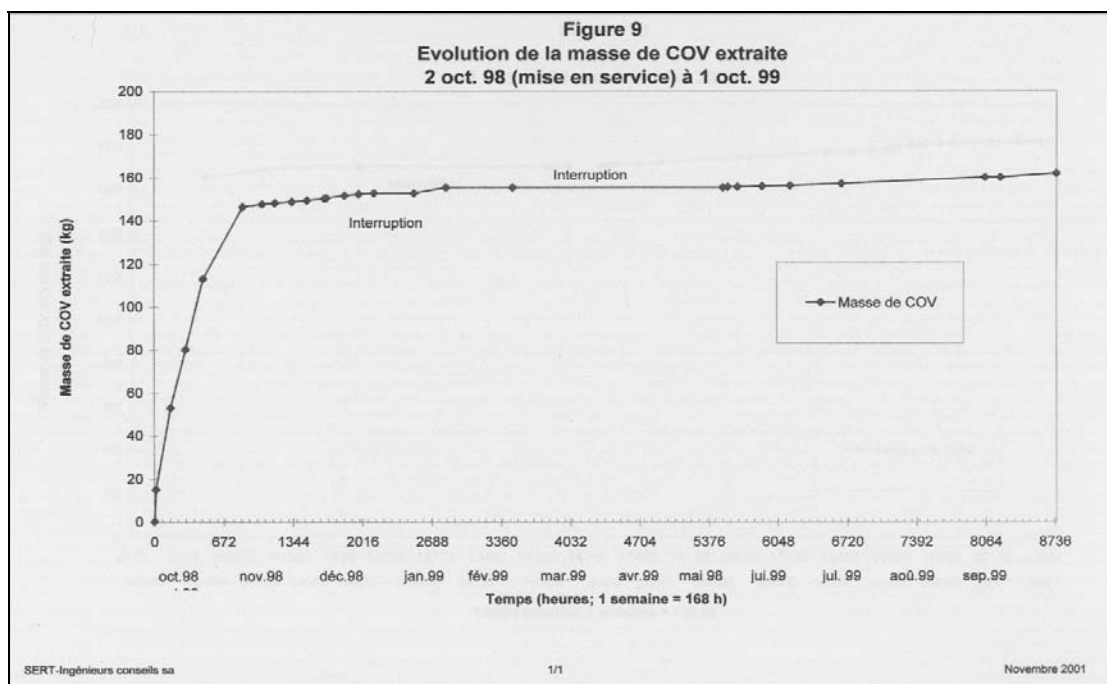


Figure 3 : Masse de COV extraite par le système d'extraction à double phase (Source : Rapport Bureau JF Mages)..

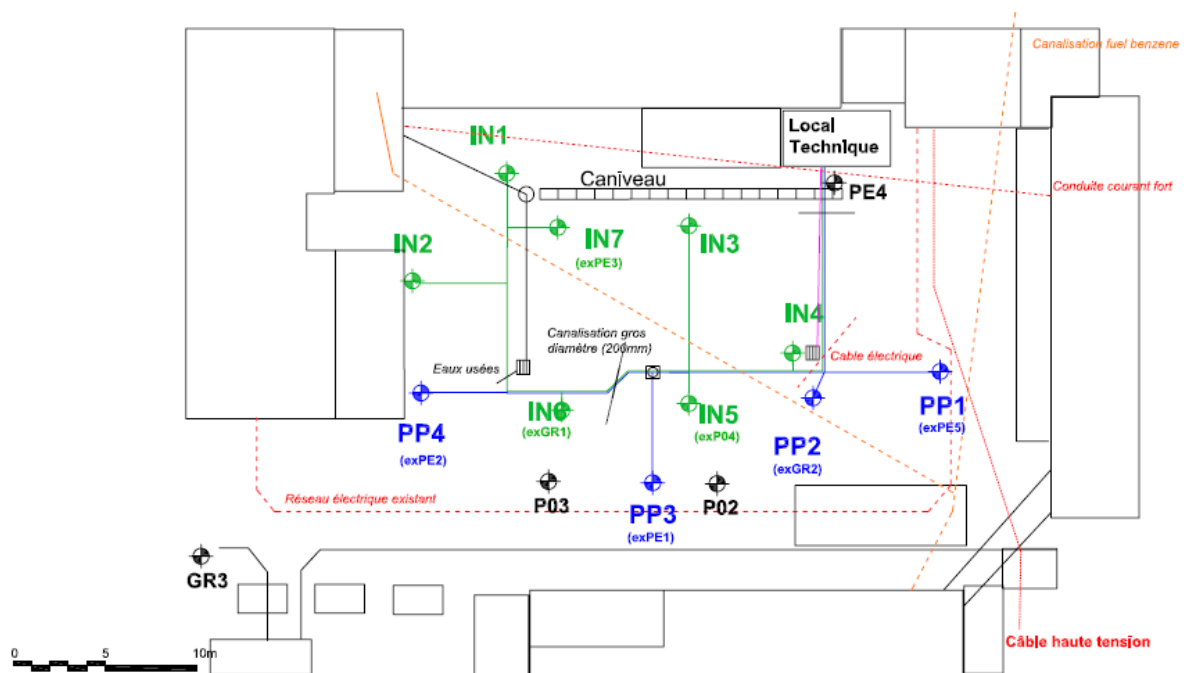


Figure 4: Installations pour la phase d'assainissement biologique. IN1 à IN7 points d'injection de la solution de mélasse. PP1 à PP4 puits de pompage.



Figure 5: Système de circulation de l'eau avec l'arrivée de l'eau (gauge) et système de distribution de la solution de mélasse (droite).

Hydrochimie et conditions de redox

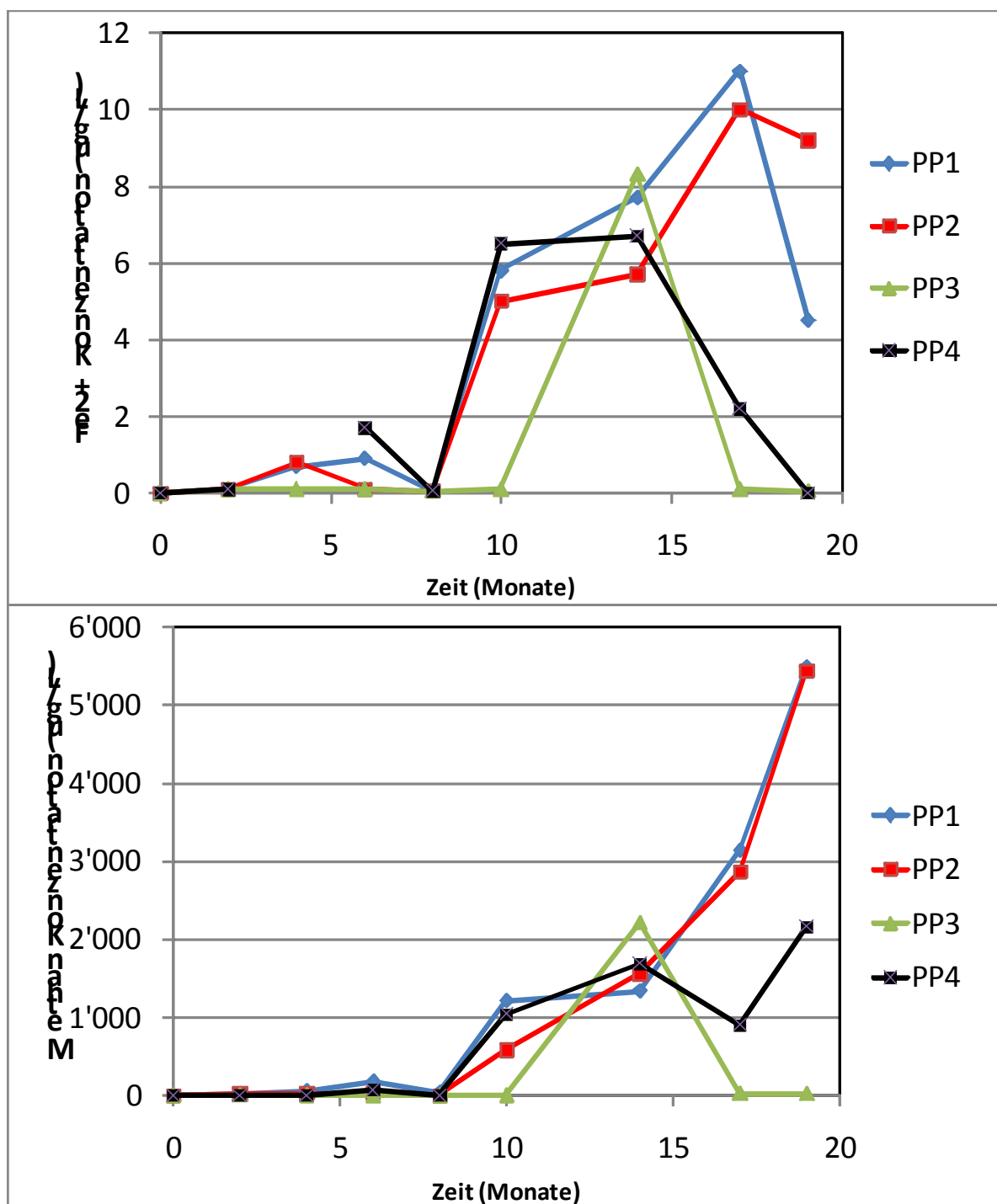


Figure 6 : Evolution de la concentration en Fe^{2+} et méthane depuis le début de l'injection de la solution de mélasse.

Tableau 1 : Evolution des paramètres hydrochimiques.

PP1	13.08.2008	31.10.2008	10.12.2008	19.02.2009	28.04.2009	18.06.2009	13.08.2009	18.11.2009	29.01.2010
Cond el.	549.0								
Cl ⁻ (mg/L)	31.6	34.0	39.0	44.0	32.0	34.0	42.0	37.0	49.0
NO ₃ ⁻ (mg/L)	9.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	7.7	16.0	1.0	1.0	6.8	1.0	1.0	1.0	1.0
Fe ²⁺ (mg/L)	n.d.	0.1	0.7	0.9	0.1	5.8	7.7	11.0	4.5
Mn ²⁺ (mg/L)	n.d.	0.4	2.4	1.8	1.6	2.2	2.0	1.8	1.2
CH4 (ug/L)	1.0	18.4	56.6	175.4	48.2	1216.0	1340	3140	5488.0
PP2									
Cond el.	546.0								
Cl ⁻ (mg/L)	31.2	36.0	38.0	40.0	29.0	33.0	40.0	36.0	50.0
NO ₃ ⁻ (mg/L)	16.9	1.0	1.0	5.1	11.0	1.0	1.0	1.0	1.0
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	8.2	15.0	2.7	2.0	8.2	1.0	1.0	1.0	1.0
Fe ²⁺ (mg/L)	n.d.	0.1	0.8	0.1	0.1	5.0	5.7	10.0	9.2
Mn ²⁺ (mg/L)	n.d.	0.4	1.4	1.2	0.0	2.0	2.1	1.9	2.5
CH4 (ug/L)	1.0	21.3	31.6	29.0	2.2	583.0	1560	2860	5437.0
PP3									
Cond el.	494.0								
Cl ⁻ (mg/L)	24.2	33.0	31.0	36.0	30.0	30.0	41.0	37.0	43.0
NO ₃ ⁻ (mg/L)	12.5	1.0	12.0	26.0	15.0	15.0	1.0	16.0	15.0
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	8.6	18.0	9.5	7.0	7.7	9.6	1.0	4.3	8.0
Fe ²⁺ (mg/L)	n.d.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	8.3	0.1	0.1
Mn ²⁺ (mg/L)	n.d.	0.1	0.017	0.1	0.0	0.1	2.1	0.04	0.034
CH4 (ug/L)	1.0	2.1	1.2	0.5	0.5	0.7	2210	28.4	19.6
PP4									
Cond el.	490.0								
Cl ⁻ (mg/L)	23.5	34.0		45.0	27.0	36.0	41.0	32.0	40.0
NO ₃ ⁻ (mg/L)	12.9	2.1		2.1	9.3	1.0	1.0	<1	<1
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	7.1	17.0		1.0	7.9	1.0	1.0	2.4	4.0
Fe ²⁺ (mg/L)	n.d.	0.1		1.7	0.1	6.5	6.7	2.2	<0.05
Mn ²⁺ (mg/L)	n.d.	0.1		1.6	0.0	2.3	2.1	0.44	1.7
CH4 (ug/L)	1.0	1.8	0.5	71.2	0.5	1041.8	1690	903.0	2162.0

Concentration et valeurs isotopiques des composés chloroéthènes et concentration d'éthène

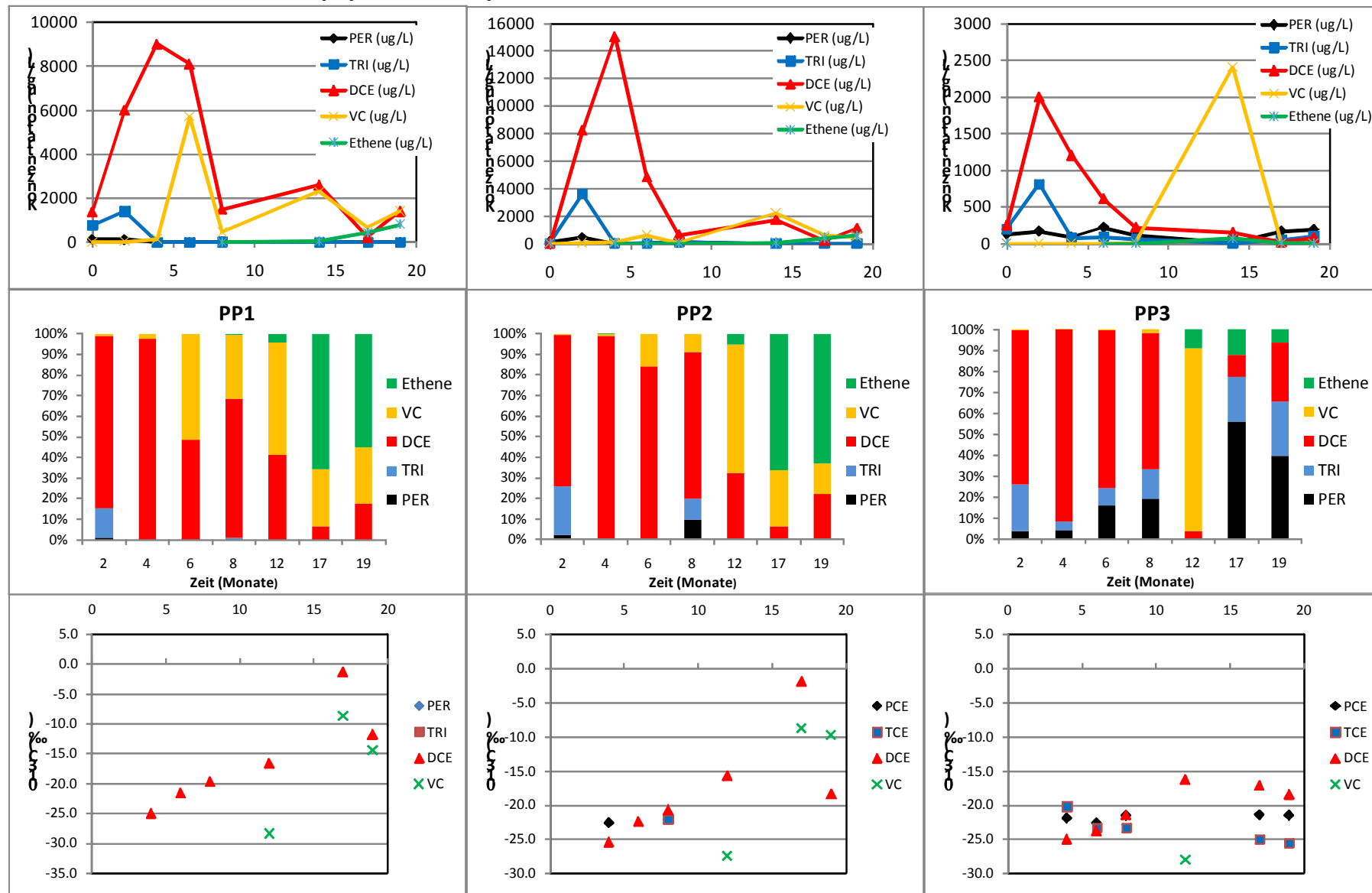


Figure 7: Concentrations et valeurs isotopiques des chloroéthènes et concentration d'éthène

Tableau 2 : Evolution des concentrations des chloroéthènes et d'éthène

PP1	13.08.2008	31.10.2008	10.12.2008	19.02.2009	28.04.2009	13.08.2009	18.11.2009	29.01.2010
PER (ug/L)	131	130	0.8	0.4	7.9	2.9	1.8	0.28
TRI (ug/L)	760	1400	5.2	1.8	24	5.8	2.4	0.85
DCE (ug/L)	1370	6000	9000	8100	1500	2600	230	1400
VC (ug/L)	<50	38	150	5700	450	2300	650	1400
Ethene (ug/L)					2.1	47.9	437	808
Somme (ug/L)	2261	7568	9156	13802	1982	4909	884	2801
111-TCA (ug/L)		1600	1300	1000	340	150	72	110
PP2								
PER (ug/L)	102	440	4.4	12	140	7.8	4.6	0.8
TRI (ug/L)	18	3600	10	24	120	13	3.4	8.4
DCE (ug/L)	16	8200	15000	4800	610	1700	210	1100
VC (ug/L)	<10	53	87	600	50	2200	580	480
Ethene (ug/L)	0		2.3	0	0	51	401	581
Somme (ug/L)	136	12293	15101	5436	920	3921	798	1589
111-TCA (ug/L)		1700	1600	530	120	170	66	83
PP3								
PER (ug/L)	132	170	88	220	110	3.8	170	190
TRI (ug/L)	200	810	76	90	64	7.5	52	100
DCE (ug/L)	250	2000	1200	610	220	150	19	80
VC (ug/L)	<25	2.3	0.4	1.1	3.7	2400	2.8	6
Ethene (ug/L)	0			0	0	69.7	4	3.2
Somme (ug/L)	582	2982	1364	921	398	2561	244	376
111-TCA (ug/L)		580	190	120	49	150	40	49
PP4								
PER (ug/L)	170	400			370	5.2		830
TRI (ug/L)	90	1100		1.4	170	8		360
DCE (ug/L)	41	2600		6400	1200	2200	420	810
VC (ug/L)	<25	7		1400	96	2400	230	270
Ethene (ug/L)	0			1.1	0	56.5	116	396
Somme (ug/L)	301	4107	0	7801	1836	4613	650	2270
111-TCA (ug/L)		860		730	250	150	94	330

Taux de biodégradation de DCE calculé à partir de l'équation de Rayleigh

Taux de biodégradation de DCE							
		10.12.2008	19.02.2009	28.04.2009	13.08.2009	18.11.2009	29.01.2010
PP1	$\delta^{13}\text{C}$	-25.0	-21.6	-19.7	-16.6	-1.3	-11.8
	B	0.00	0.15	0.23	0.34	0.68	0.47
PP2	$\delta^{13}\text{C}$	-25.4	-22.4	-20.7	-15.7	-1.9	-18.4
	B	0.00	0.14	0.20	0.38	0.68	0.29
PP3	$\delta^{13}\text{C}$	-25.0	-23.8	-21.4	-16.2	-17.1	-18.4
	B	0.00	0.06	0.16	0.35	0.32	0.27