

Site pollué aux hydrocarbures chlorés : évaluation du potentiel de biodégradation naturelle par analyse fine des données de surveillance

Hélène Demougeot-Renard



helenedemougeotrenard@eode.ch

www.eode.ch

+41 (0)79 671 96 22



4èmes journées d'échanges francophones
18 Juin 2015 - Genève

Objectif de l'exposé

Montrer, sur un cas concret de site contaminé aux hydrocarbures chlorés, dans quelle mesure il est possible d'évaluer l'évolution d'une situation de pollution, par une analyse fine des données de surveillance à l'aide d'outils statistiques simples.

Plan de l'exposé

1. Contexte et introduction
2. Analyse de données de surveillance à l'aide d'outils statistiques simples
 - a. Le cas d'étude et les données de surveillance disponibles
 - b. Evolution de la pollution aux hydrocarbures chlorés (chloroéthènes)
 - c. Evolution des conditions redox dans la nappe
 - d. Relations entre concentrations en hydrocarbures chlorés et paramètres redox
3. Conclusions et leçons à en tirer

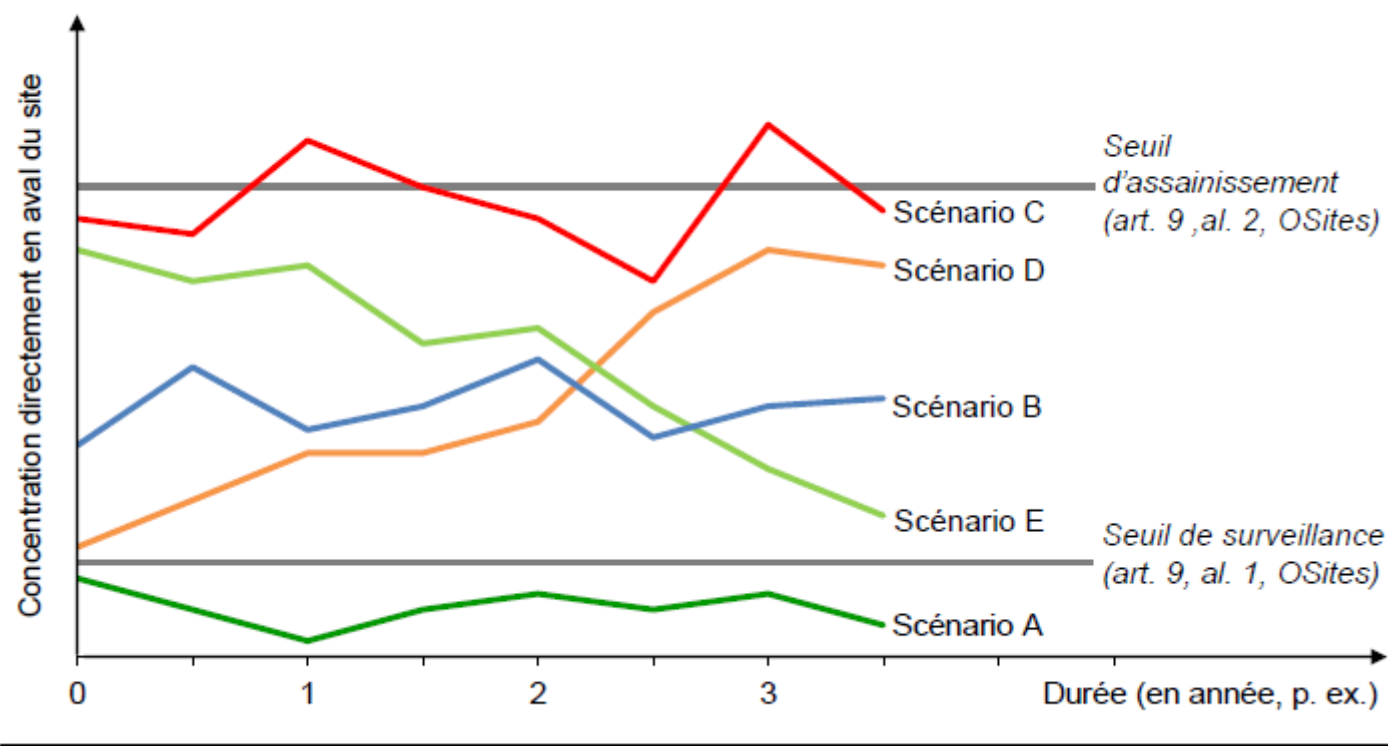
En Suisse, une surveillance des eaux souterraines est requise sur de nombreux sites, dans plusieurs cas de figure :

1. Sites reconnus après investigation préalable comme ne nécessitant a priori pas d'assainissement mais devant néanmoins être surveillés (art.8 et art.9 OSites).
2. Sites reconnus après investigation préalable comme nécessitant un assainissement. Les sites sont surveillés pendant l'investigation de détail et le projet d'assainissement, ainsi que pendant et après l'assainissement (art.8, 9 et 13 OSites).
3. Surveillance à long terme de sites déjà assainis par des mesures de confinement ou de traitement in situ (art. 13 et 19 OSites).

Les séries de données collectées durant la période de surveillance servent de base à l'Autorité pour décider des mesures à prendre sur le site.

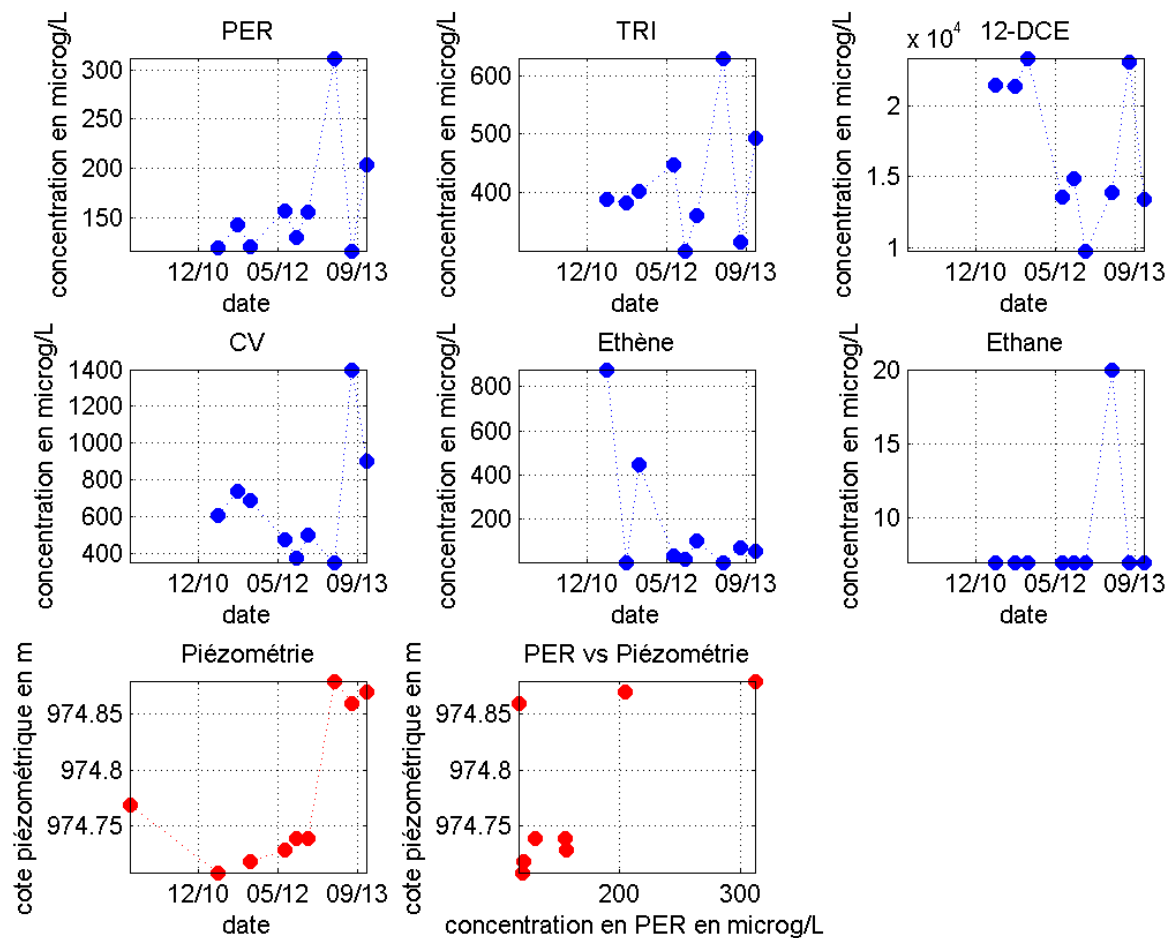
L'Autorité apprécie si, après plusieurs années de surveillance, la situation de pollution évolue favorablement :

Fig. 3 > Evolution des polluants directement en aval d'un site pollué



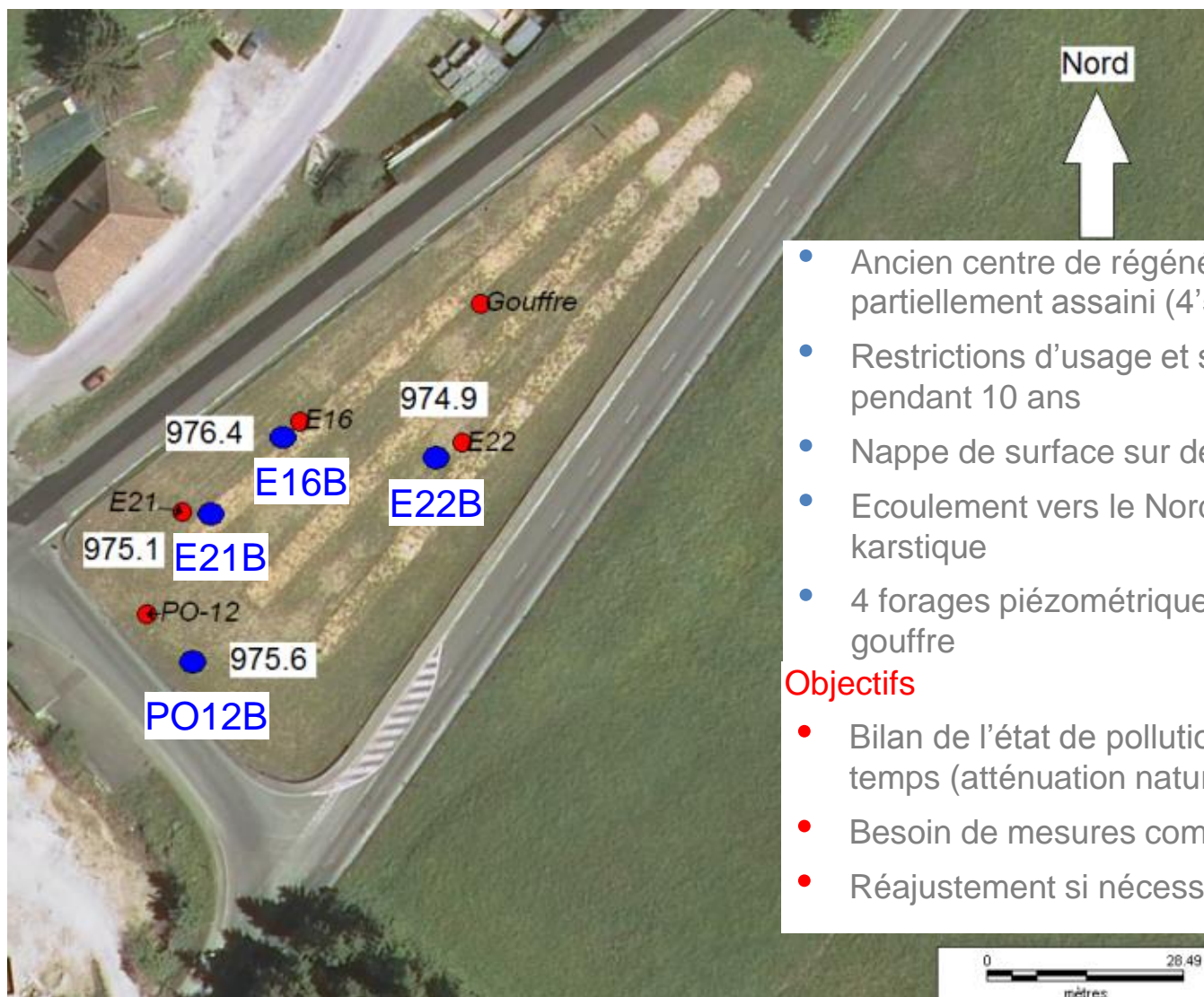
Aide à l'exécution OFEV 2015 Surveillance des sites pollués

Difficultés posées par l'évaluation de l'évolution de la situation de pollution, notamment en présence d'hydrocarbures chlorés



1. Très nombreuses données
2. Pas de tendances nettes
3. Certaines substances de la liste OSites sont des produits de dégradation d'autres substances
4. Fluctuations liées à la piézométrie et/ou aux erreurs d'analyse et d'échantillonnage

Le cas d'étude



- Ancien centre de régénération de solvants chlorés partiellement assaini (4'500 m²)
- Restrictions d'usage et surveillance de la pollution résiduelle pendant 10 ans
- Nappe de surface sur des argiles
- Ecoulement vers le Nord-Est, en direction d'un gouffre karstique
- 4 forages piézométriques et 2 points de prélèvements dans le gouffre

Objectifs

- Bilan de l'état de pollution résiduelle et évolution au cours du temps (atténuation naturelle?)
- Besoin de mesures complémentaires ?
- Réajustement si nécessaire du programme de surveillance

Les données de surveillance disponibles

Paramètres caractéristiques des Hydrocarbures chlorés

Série des chloroéthènes

PER - TRI - 12 DCE - CV - éthène - éthane

Série des chloroéthanes et chlorométhanes

111TCA – 4CMA – CF - CM

Paramètres redox

OD – Mn^{2+} – Fe^{2+} - S^{2-} – T – pH – CE – Eh – (CH_4)

Hydrodynamique de la nappe

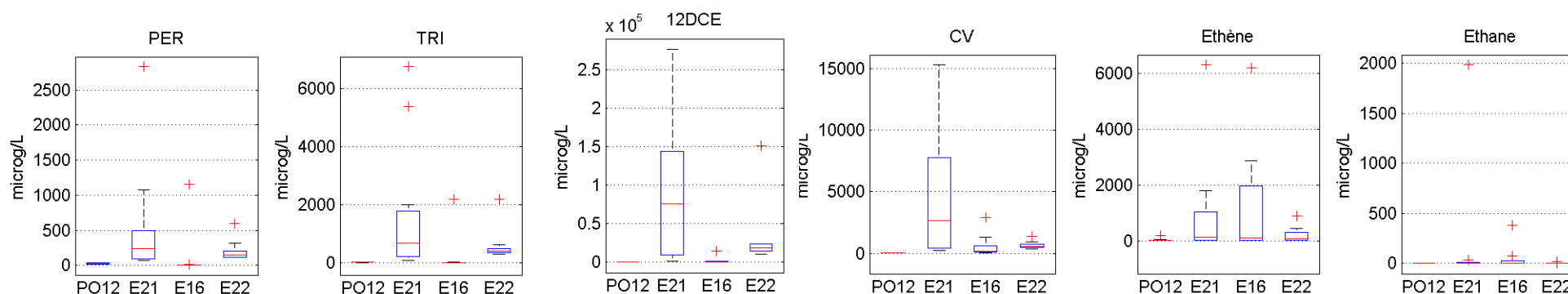
Niveau statique (z_{eau})



- 4 piézomètres PO12B, E21B, E16B et E22B
- Période 2009 – 2013 (5 ans)
- 2x/an en 2009 - 3x/an de 2010 à 2013
- 21 paramètres / échantillon
- 11 séries de 21 paramètres dans chaque piézomètre

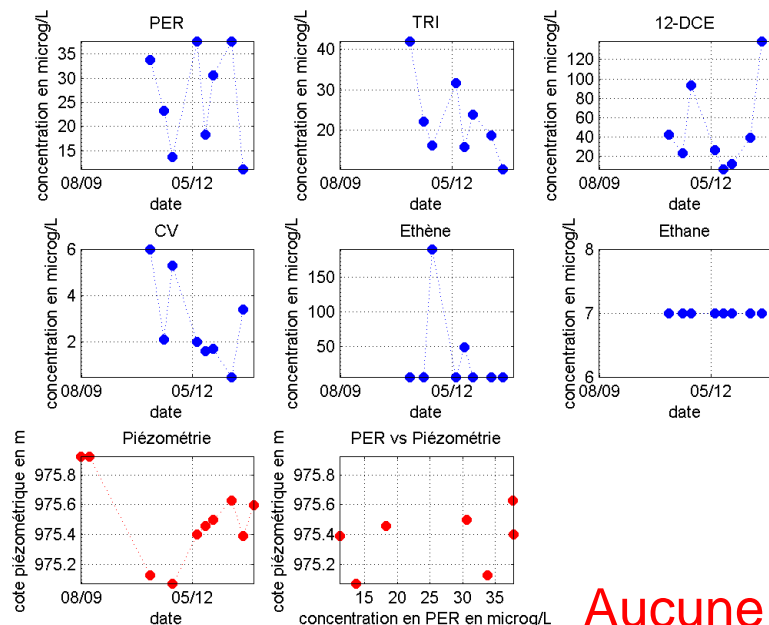
Niveaux de concentrations de la série des chloroéthènes

30.04.13	PER	TRI	12DCE	CV	Ethene	Ethane
PO12B	38	19	40	0.5	<7	<7
E21B	76	123	3890	246	<7	<7
E16B	8	8	16	78	<7	<7
E22B	312	630	13900	355	<7	20
G1	39	29	79	2	n.a.	<7
½ OSites	20	35	25	0.05	p.v.	p.v.

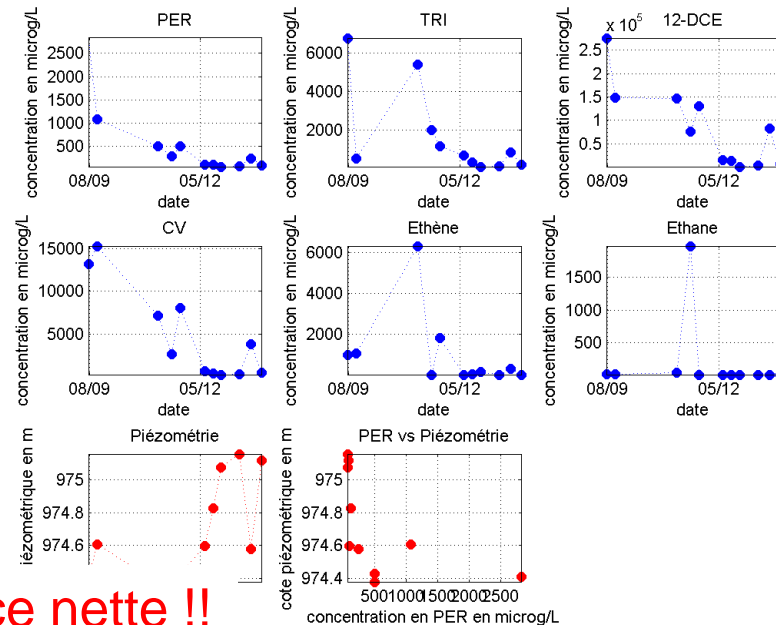


Evolution des concentrations en chloroéthènes sur 2009 - 2013

PO12B

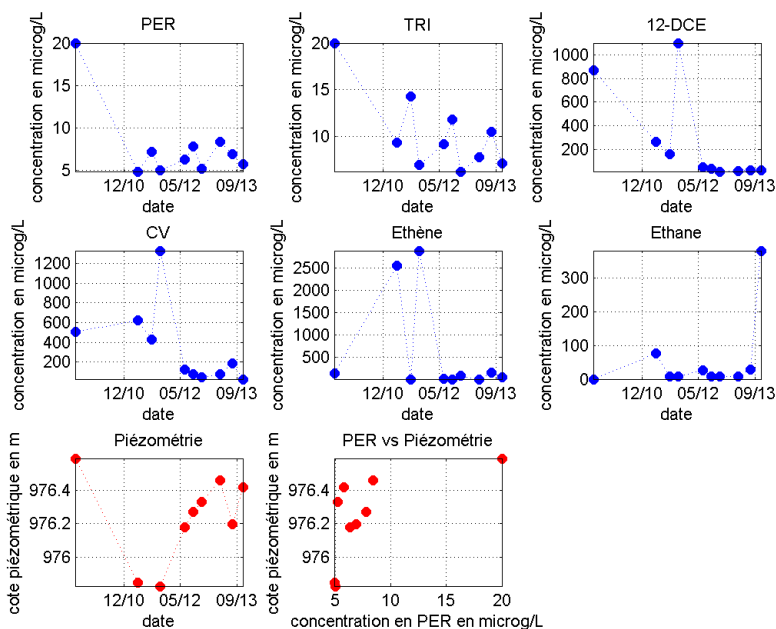


E21B

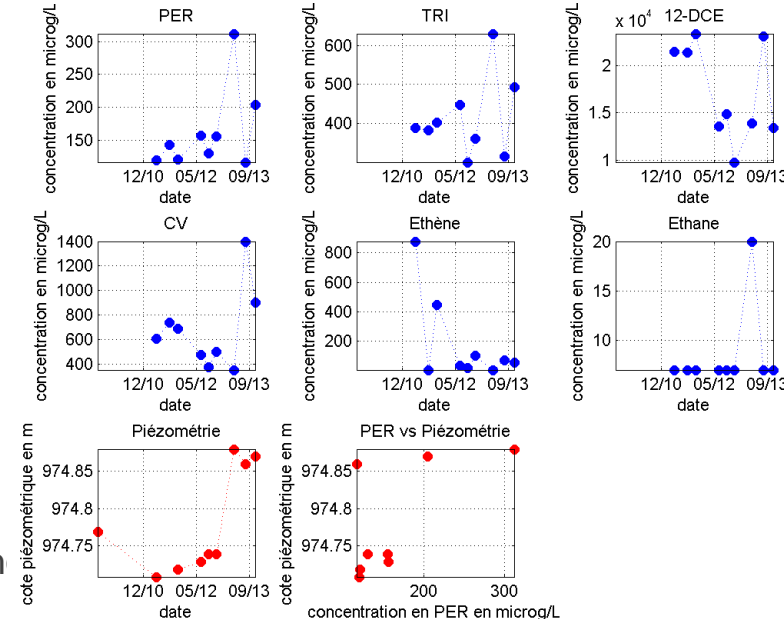


Aucune tendance nette !!

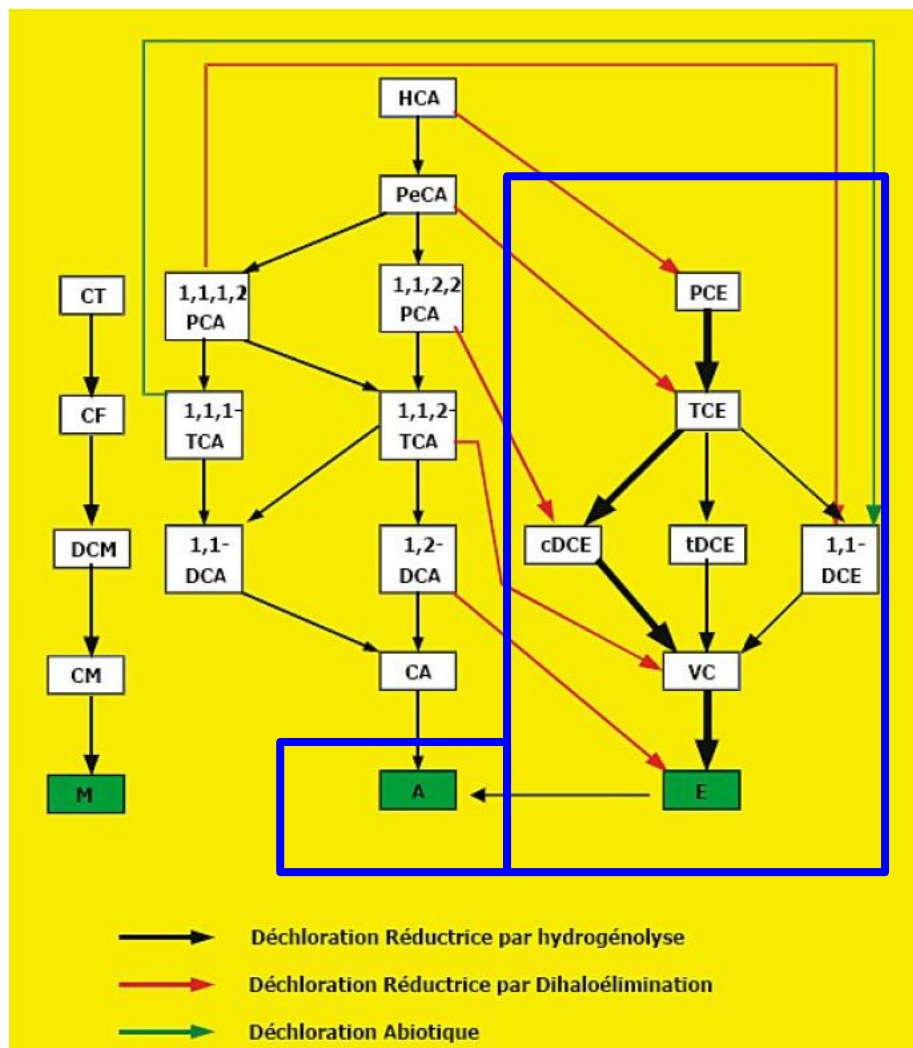
E16B



E22B



Evolution des concentrations en chloroéthènes sur 2009 - 2013

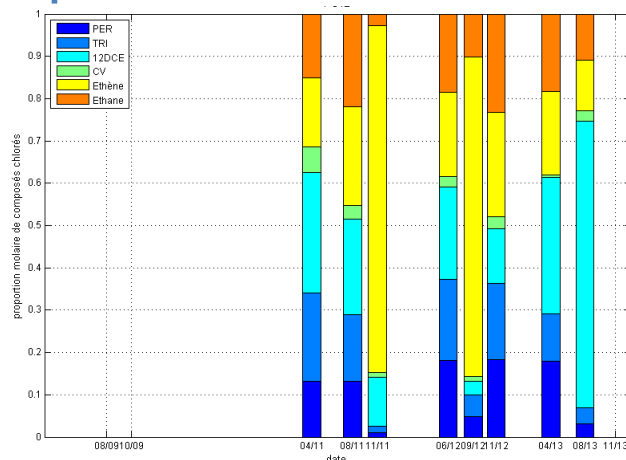


Une mole de PER (PCE) produit une mole de TRI (TCE) qui produit une mole de 1,2-DCE, etc...si la déchloration est effective jusqu'à l'éthène et éventuellement l'éthane.

Côme et al. 2007 Projet Macaoh ADEME

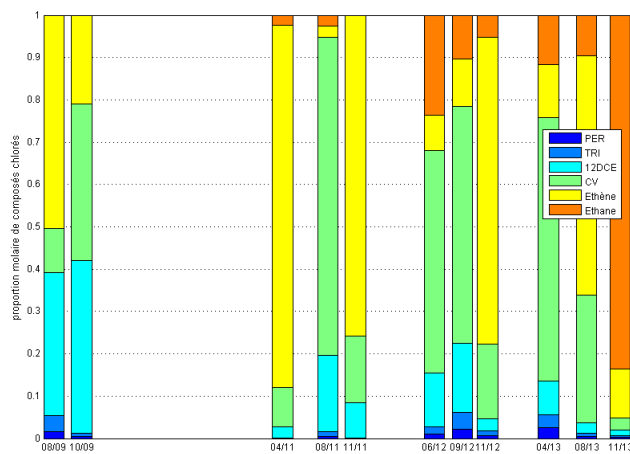
Evolution des proportions molaires de la série des chloroéthènes sur la période 2009 - 2013

PO12B

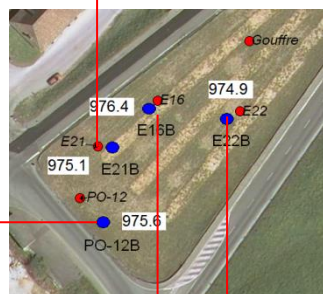


Composés tous également représentés

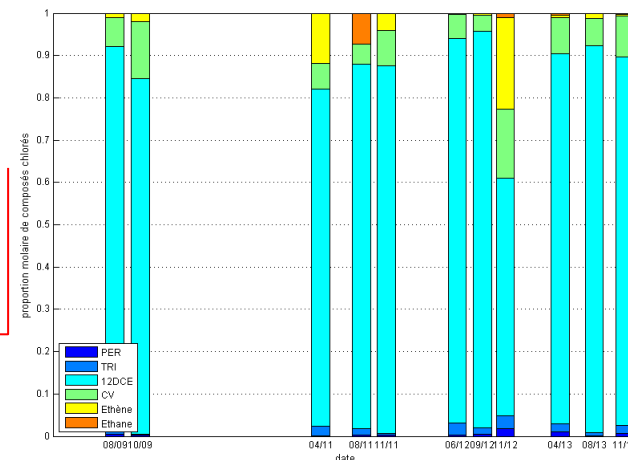
E16B



CV, éthène et éthane majoritaires et en proportions croissantes

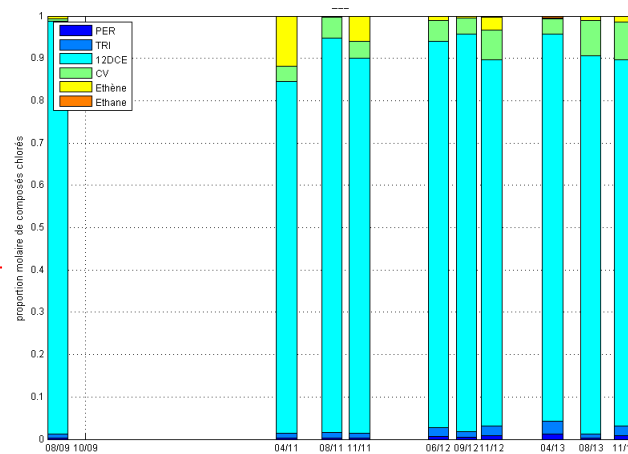


E21B



Prépondérance de 12DCE sans nette évolution

E22B



Prépondérance de 12DCE sans nette évolution

PER

TRI

12DCE

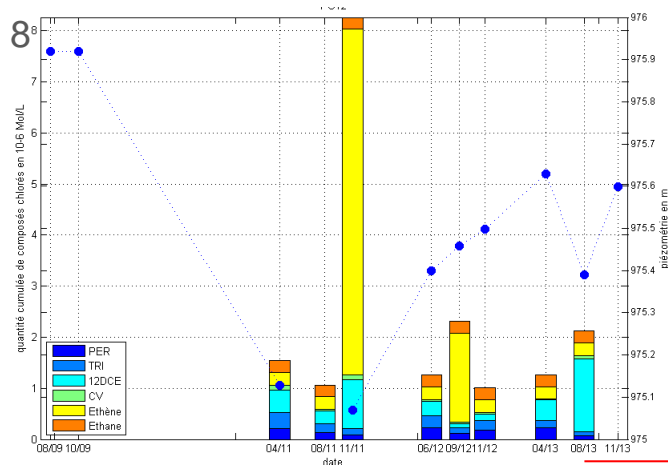
CV

Ethène

Ethane

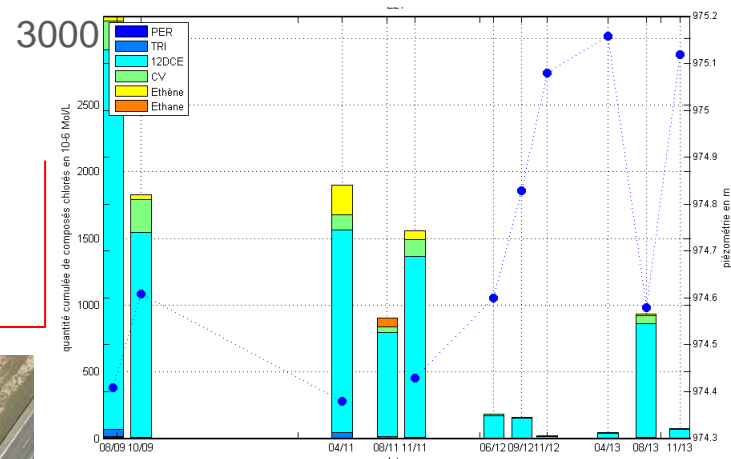
Evolution des quantités molaires cumulées de la série des chloroéthènes sur la période 2009 - 2013

PO12B



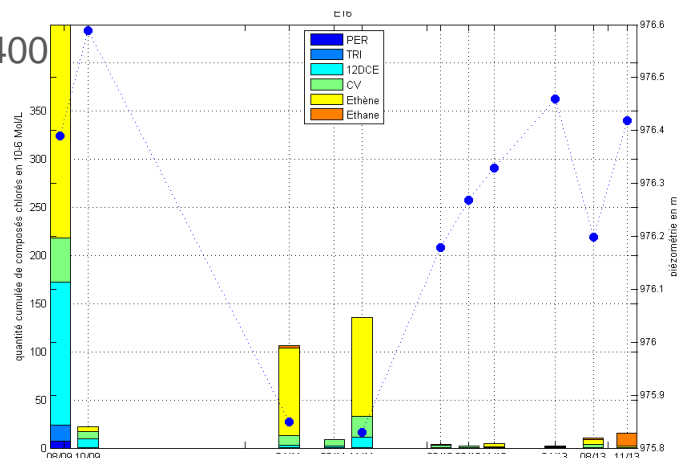
Quantités très faibles

E21B



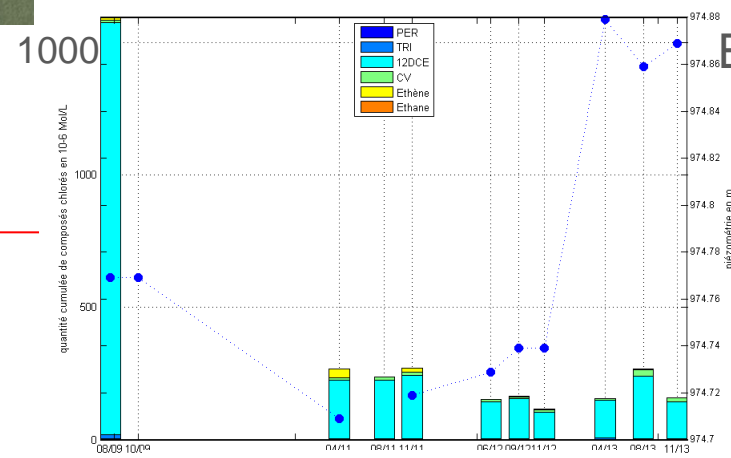
Quantités les plus élevées
Tendance à la diminution

E16B

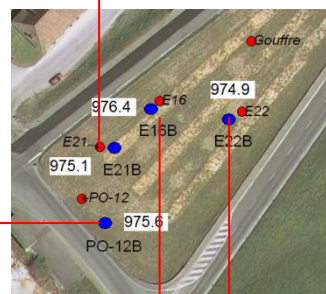


Diminution nette

E22B



Tendance à la diminution



PER TRI 12DCE CV Ethène Ethane

Conditions redox en nappe et évolution dans le temps

Accepteurs d'électron d'origine anthropique	ΔG	Accepteurs d'électrons naturels	ΔG
		Respiration aérobie	-3202
		Dénitrification	-3245
		Réduction du Manganèse (IV)	-3202
		Réduction du Fer (III)	-2343
Réduction du PCE	-1500		
Réduction du TCE	-1465		
Réduction du Cis-1,2-DCE	-1166		
		Sulfate (?)	-514
		Méthanogenèse	-136

potentiel redox Eh
ordre de consommation



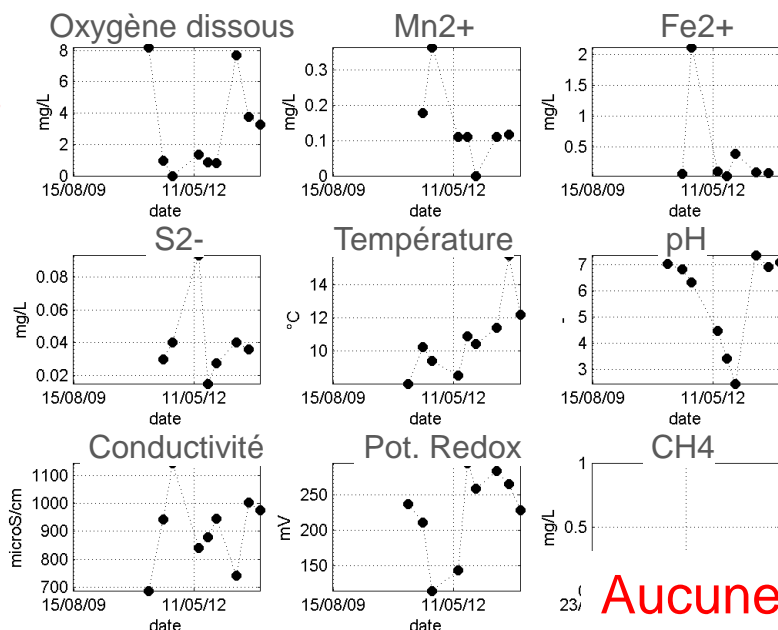
Les bactéries utilisent en priorité les accepteurs d'électrons (oxydants) les plus puissants.

Critères d'appréciation du niveau réducteur de la nappe

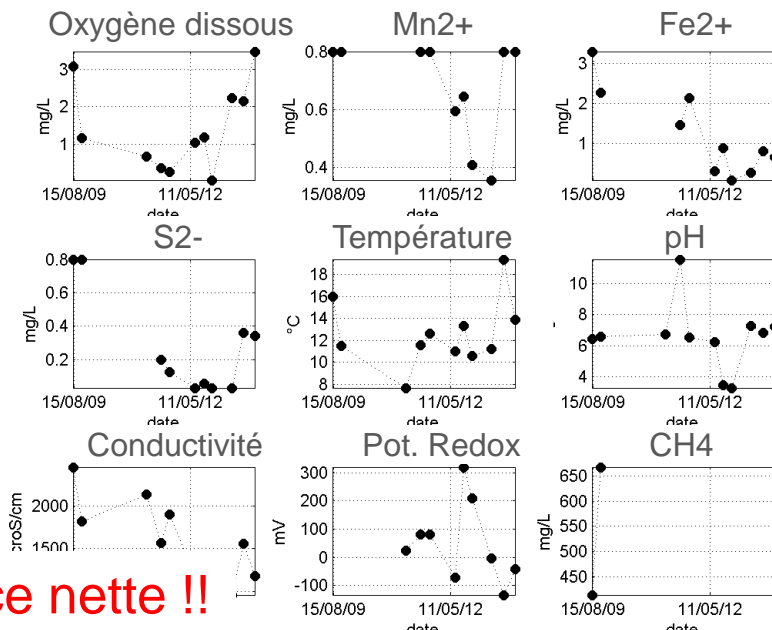
Conditions redox	Oxydant	Produit de réduction	Eh (mV)	Critères de (Côme et al., 2007)	Critères de (Jurgens, 2009)
aérobies	O₂	H ₂ O	820	O₂ < 0.5 mg/L	O₂ < 0.5 mg/L
anaérobies dénitrifiantes	NO ₃ ⁻	N ₂	740	NO ₃ ⁻ < 1 mg/L	N ₂ ≥ 0.5 mg/L
anaérobies réduction du manganèse	Mn (IV)	Mn (II)	520		Mn (II) ≥ 0.05 mg/L
anaérobies ferro-réductrices	Fe (III)	Fe (II)	-50	Fe (II) > 2 mg/L	Fe (II) ≥ 0.5 mg/L
anaérobies sulfato-réductrices	SO ₄ ⁻	S²⁻ (H₂S)	-220	SO ₄ ⁻ < 20 mg/L	SO ₄ ⁻ ≥ 0.5 mg/L
anaérobies méthanogènes	CO ₂	CH ₄	-240	CH ₄ > 1 mg/L	
			Eh POR	Eh < + 100 mV POR < - 100 mV	

Evolution des conditions redox en nappe sur 2009 - 2013

PO12B

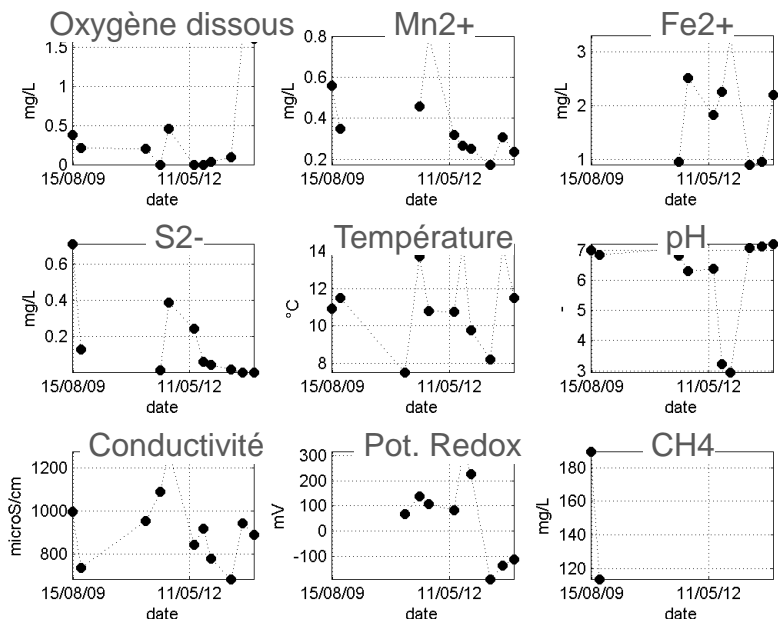


E21B

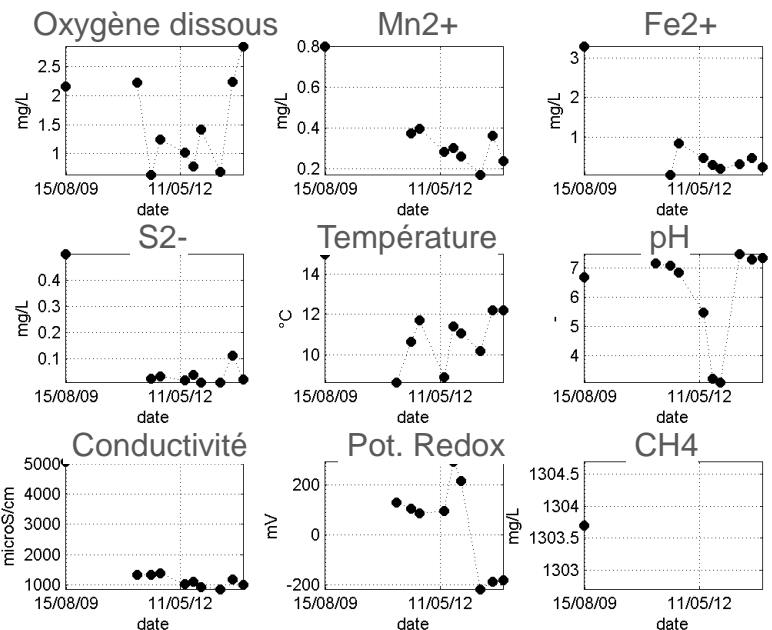


Aucune tendance nette !!

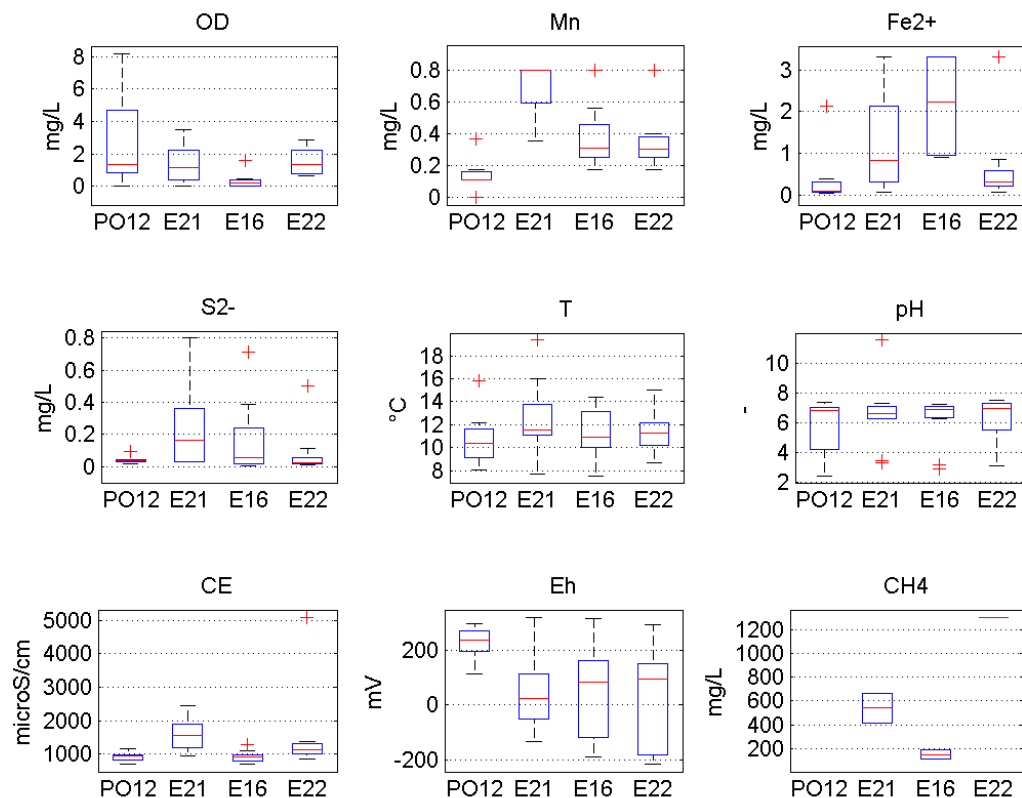
E16B



E22B

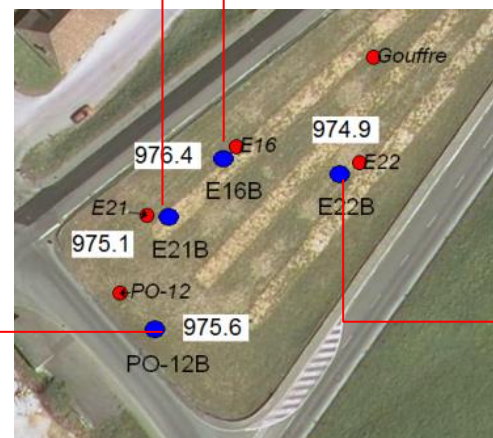


Appréciation du niveau réducteur de la nappe



Aérobic

~Sulfato-réductrices



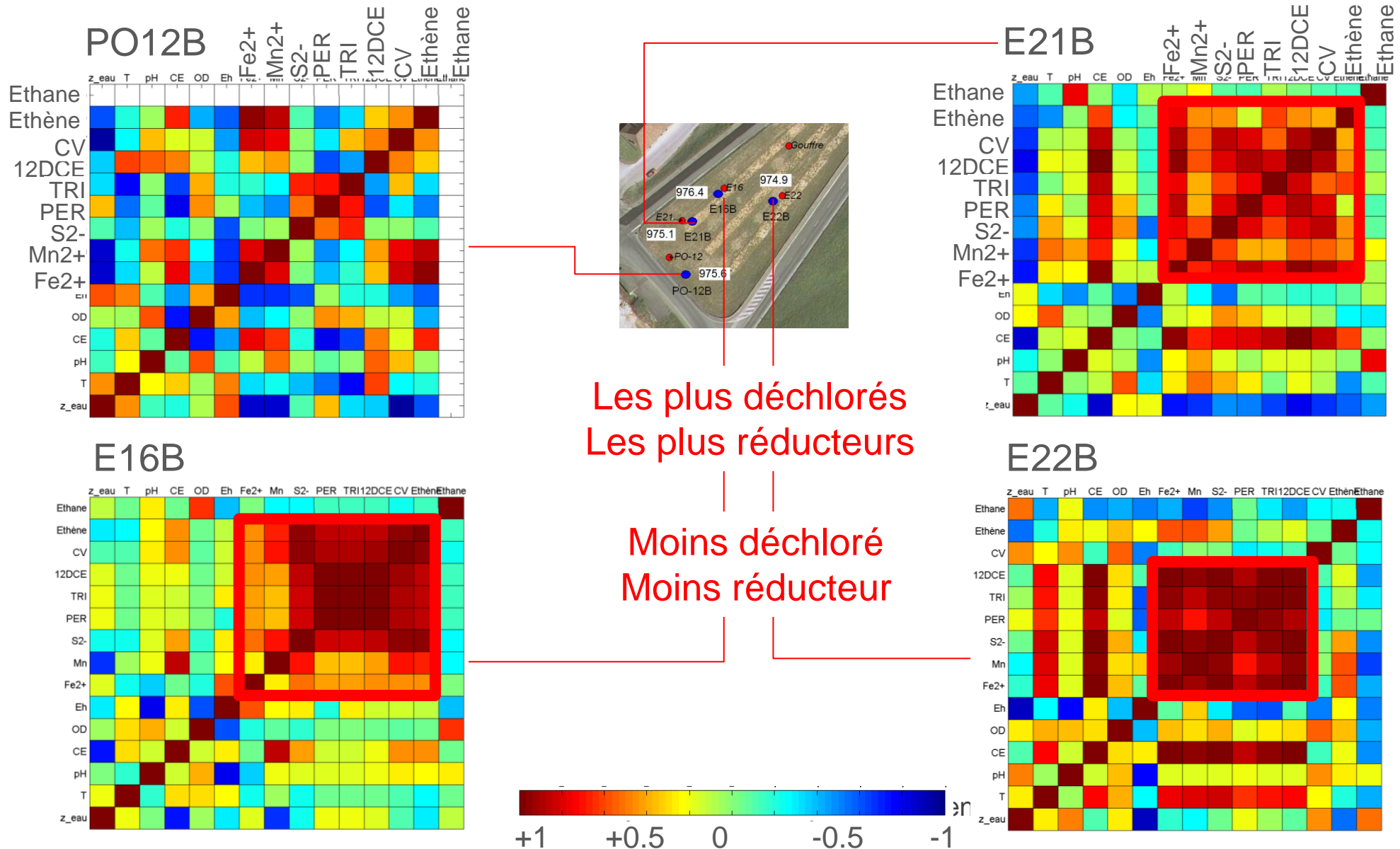
~Ferro-réductrices

En moyenne :

- OD > 0.5 mg/L dans tous les forages sauf en E16B
- Mn²⁺ > 0.5 mg/L uniquement en E21B
- Fe²⁺ > 0.5 mg/L dans tous les forages sauf en PO12B
- S²⁻ les plus élevées dans E21B et E16B
- Potentiels Eh plus faibles dans les 3 forages aval que dans PO12B

OD : problème de mesure ou faible renouvellement de l'eau dans les forages

Relations entre niveaux de concentration des composés de la série des chloroéthènes et conditions redox dans la nappe



Conclusions pour le cas d'étude

Etat de pollution résiduelle et évolution au cours du temps

- ➔ Atténuation naturelle par déchloration réductrice suggérée par les données
- ➔ Niveaux de déchloration variables selon les secteurs du site (hétérogénéité du milieu)
- ➔ Dépassement des valeurs de référence OSites 10 ans après l'assainissement
- ➔ Amélioration de la situation lente sans intervention active (points de blocage au 12DCE p.ex.)

Décision de l'Autorité

- ➔ Investigation complémentaire pour caractériser dans le détail l'état de pollution résiduelle du site et étudier la faisabilité d'un assainissement de finition, si possible par biostimulation
 - Extension 3D de la pollution
 - Caractérisation physico-chimique du milieu
 - Activité bactérienne (analyses biomoléculaires), etc.

Recommandations pour la surveillance

- ➔ Rajout de paramètres : sulfates, nitrates, méthane, carbone organique dissous
- ➔ Informations apportées : conditions ferro-réductrices dans E21B et E22B, sulfato-réductrices dans E16B.

Conclusions pour les programmes de surveillance

Leçons à en tirer

- ➔ Confirmation de l'importance des informations :
 - sur les conditions redox, collectées à moindre coût
 - sur les produits de dégradation des composés chlorés
 - sur le contexte géologique et hydrogéologique
- ➔ Intérêt des outils statistiques (simples) pour traiter un grand nombre d'informations en en extraire les principales tendances

Remerciements

- ➔ Edgar STUTZ SENE – Canton de Neuchâtel
- ➔ Nicolas RIST BG Ingénieurs Conseils