

# Programme R&D MACAOH

## Modélisation, Atténuation, Caractérisation dans les Aquifères des Organo-Halogénés

### Méthodologie d'évaluation de l'Atténuation Naturelle des organo-chlorés aliphatiques

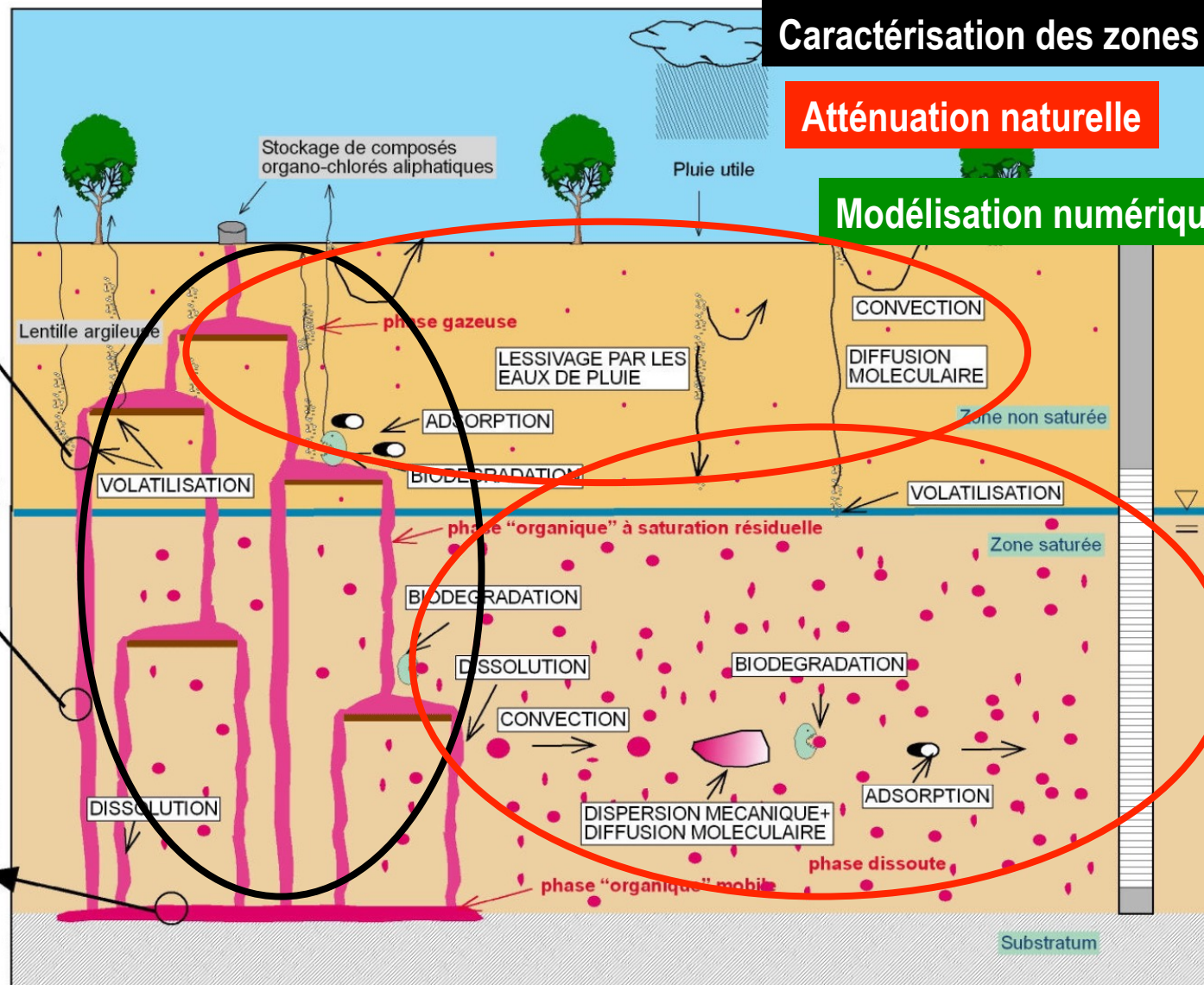
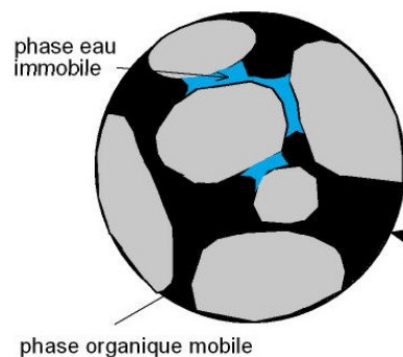
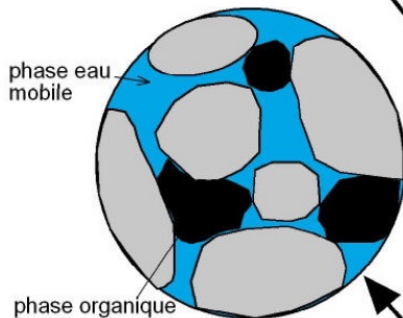
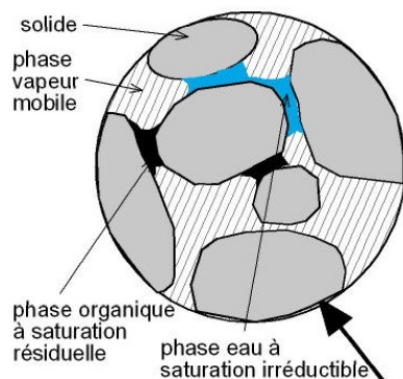
Sébastien KASKASSIAN - BURGÉAP

# Migration dans le milieu souterrain des composés organo-chlorés aliphatiques

Caractérisation des zones source

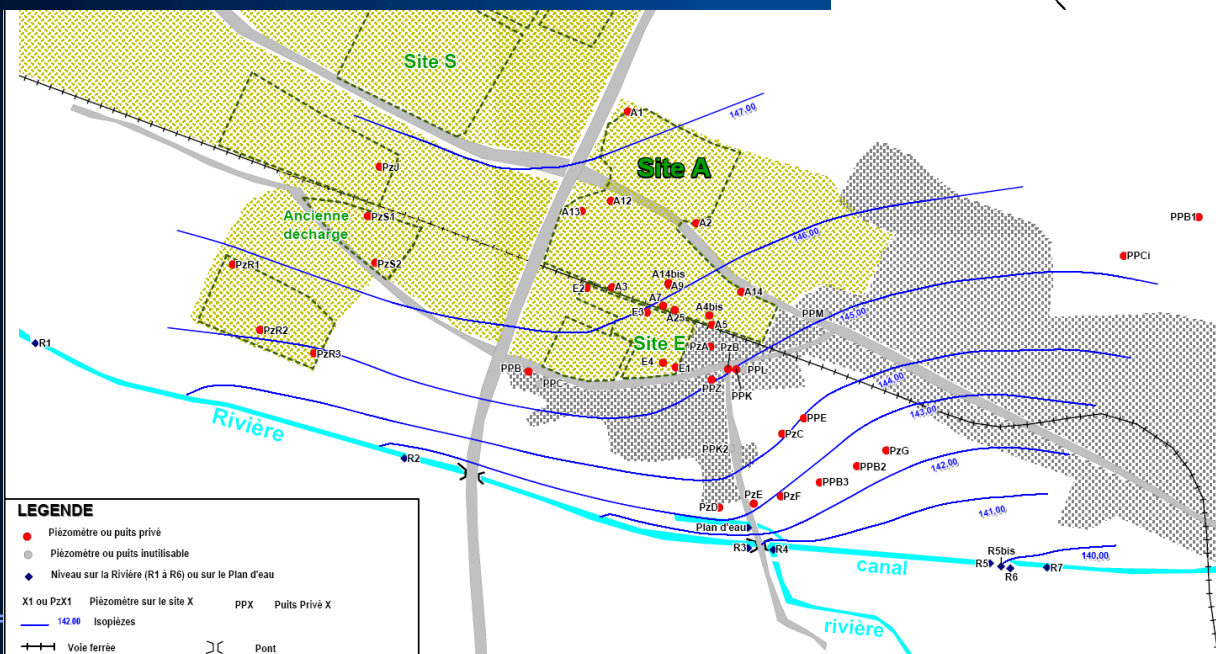
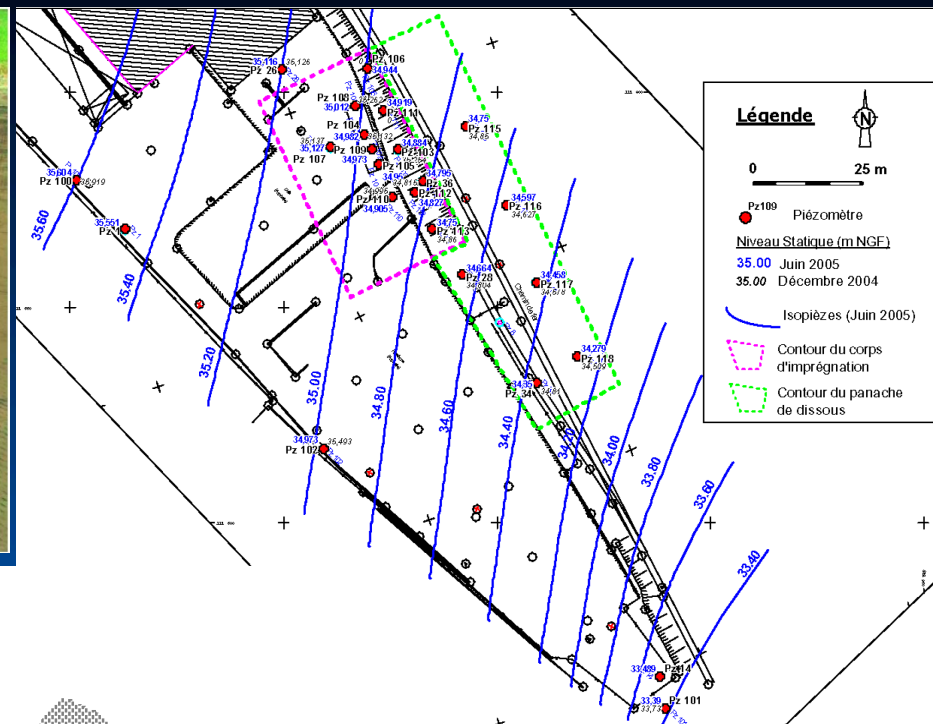
Atténuation naturelle

Modélisation numérique





# Spécificités de la démarche



CONTEXTE GENERAL DU SITE D'ETUDE A  
ET PIEZOMETRIE REGIONALE DE JANVIER 2005

Echelle A3 : 1 / 8000

Figure 21

MACAOH\_AN 28-03-07



## 2 définitions de la Directive OSWER, 1999

### L'atténuation naturelle - AN (*NA Natural Attenuation*)

- L'Atténuation Naturelle englobe une variété de mécanismes physiques, chimiques ou biologiques qui, sous des conditions favorables, réduisent sans intervention humaine la masse, la toxicité, la mobilité, le volume ou la concentration des polluants dans les sols ou les eaux souterraines. Ces mécanismes in situ comprennent la biodégradation, la dispersion, la dilution, la sorption, la volatilisation, ainsi que la stabilisation, la transformation ou la destruction des polluants par voie chimique ou biologique.

 + échanges    **Phase organique / Eau (dissolution)**  
et    **Phase organique / Gaz (volatilisation)**

### L'atténuation naturelle sous Surveillance – ANS (*MNA - Monitored Natural Attenuation*)

- Le terme « Atténuation Naturelle sous Surveillance » traduit la capacité des mécanismes d'Atténuation Naturelle (dans le contexte d'une approche de réhabilitation « attentivement » contrôlée et suivie) à atteindre les objectifs de réhabilitation spécifiques du site dans un délai considéré comme raisonnable comparé à ceux des méthodes « actives »

## Evaluation des mécanismes d'Atténuation Naturelle

### Étape 1 - Analyse préliminaire des données

Contexte géographique, géologique, hydrogéologique, hydrographique du site  
Identification des cibles  
Nature, extension spatiale et évolution dans le temps de la pollution  
Modèle conceptuel du site  
Cahier des charges pour l'acquisition de données complémentaires

### Caractérisation du site et des mécanismes :

Convection  
Dispersion  
Diffusion  
Dissolution  
Volatilisation  
Adsorption  
Dégradation abiotique  
Biodégradation  
« Dilution »

### Étape 2 - Evaluation qualitative de la biodégradation

Acquisition des paramètres spécifiques à la biodégradation (6 packs analytiques)  
Identification des mécanismes biologiques  
Expertise des données (à partir de concentrations seuils)

### Étape 3 - Evaluation quantitative des mécanismes contribuant à l'Atténuation Naturelle

Bilan de masse dans la zone source (ZS et ZNS)  
Bilan de masse dans le panache de composés dissous  
Bilan de masse dans le panache gazeux (au droit d'une zone source ou au droit du panache de composés dissous)

### Étape 4 - Prévion de l'évolution dans le temps de la pollution

Méthodologie générale (Guide méthodologique MACAOH « Modélisation »)  
Typologie de situations (zone source, panache dissous et panache gazeux)

**Faisabilité et performance de l'ANS comme technique de dépollution pour atteindre des objectifs de dépollution dans un délai fixé**  
**Comparaison avec des techniques « actives »**

## Mise en œuvre de l'Atténuation Naturelle sous Surveillance

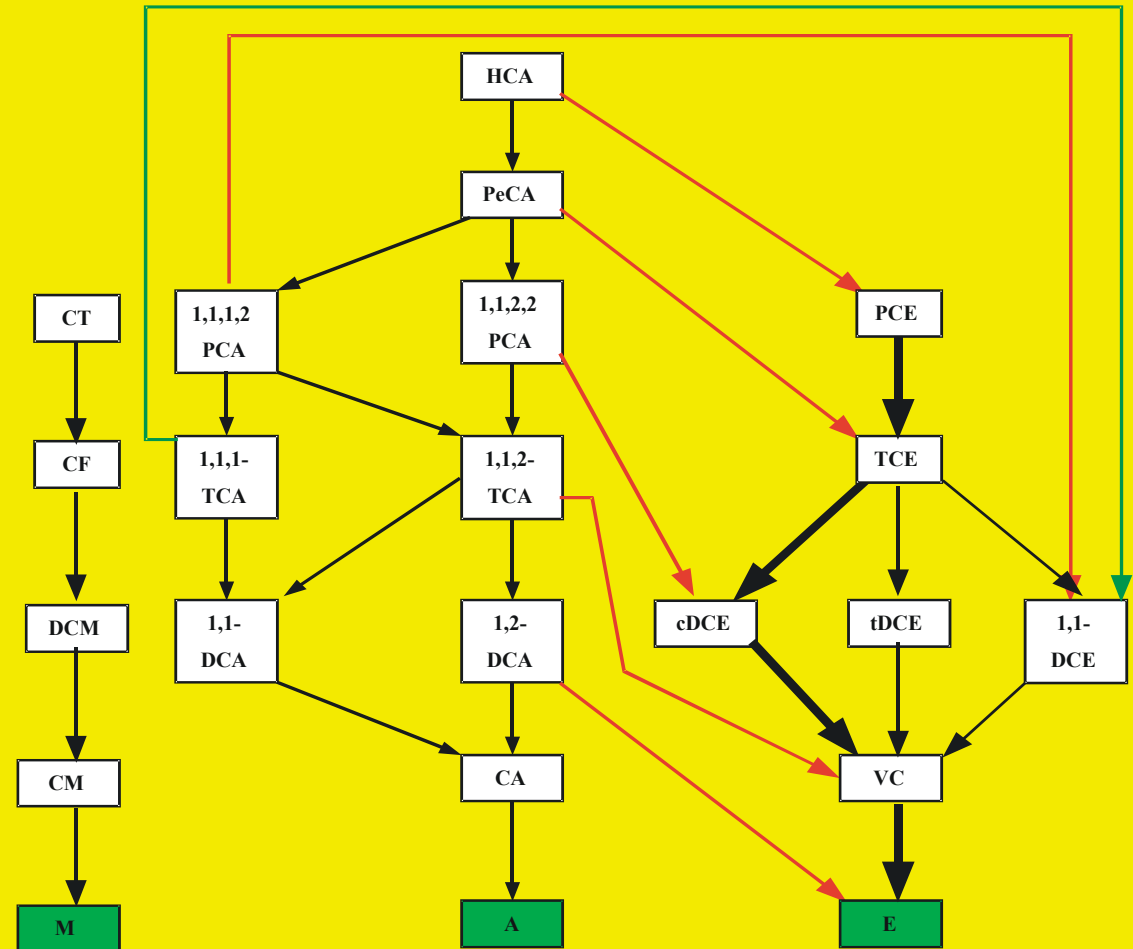
### Étape 5 - Surveillance à long terme des eaux souterraines

Cahier des charges : réseau de mesure, paramètres, fréquence, méthodes d'interprétation  
Phase I : suivi trimestriel sur 2 ans a minima (impact des phénomènes transitoires)  
Phase II : suivi annuel ou pluriannuel à long terme (atténuation de la pollution)  
Interprétation, mise à jour éventuelle du contenu de la surveillance

**Réévaluation périodique de la pérennité de l'ANS et de son adéquation avec les objectifs de dépollution**

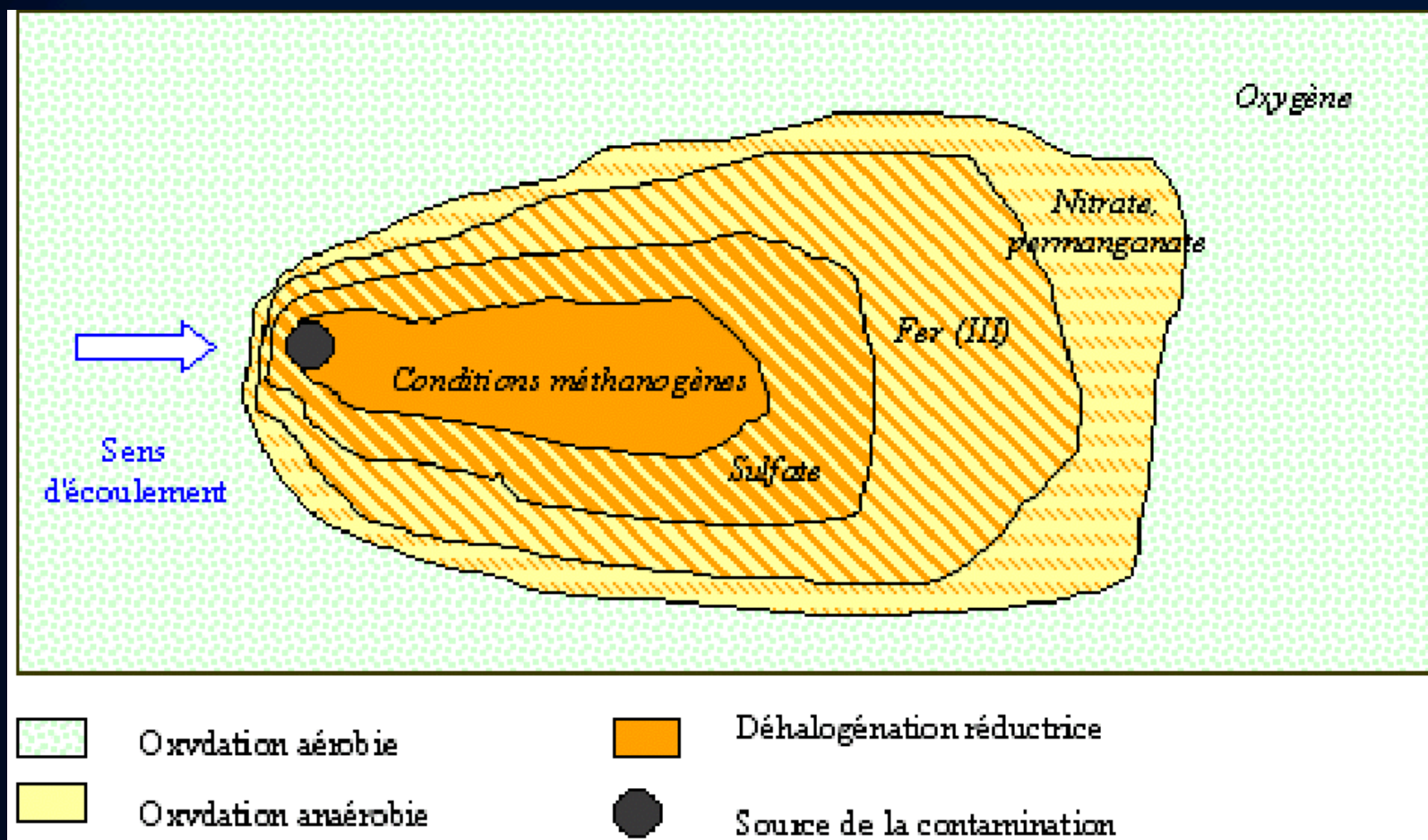


## Etape 2 : évaluation qualitative de la biodégradation



- > Déchloration Réductrice par hydrogénolyse
- > Déchloration Réductrice par Dihaloélimination
- > Déchloration Abiotique

## Etape 2 : évaluation qualitative de la biodégradation



# Etape 2 : évaluation qualitative de la biodégradation

## quelles analyses pour évaluer la biodégradation dans la nappe ?

Prélèvements d' eau de nappe sur un nombre limité de piézomètres

- 1 amont, 2 zones source, 2 aval immédiat et 2 en aval plus éloigné

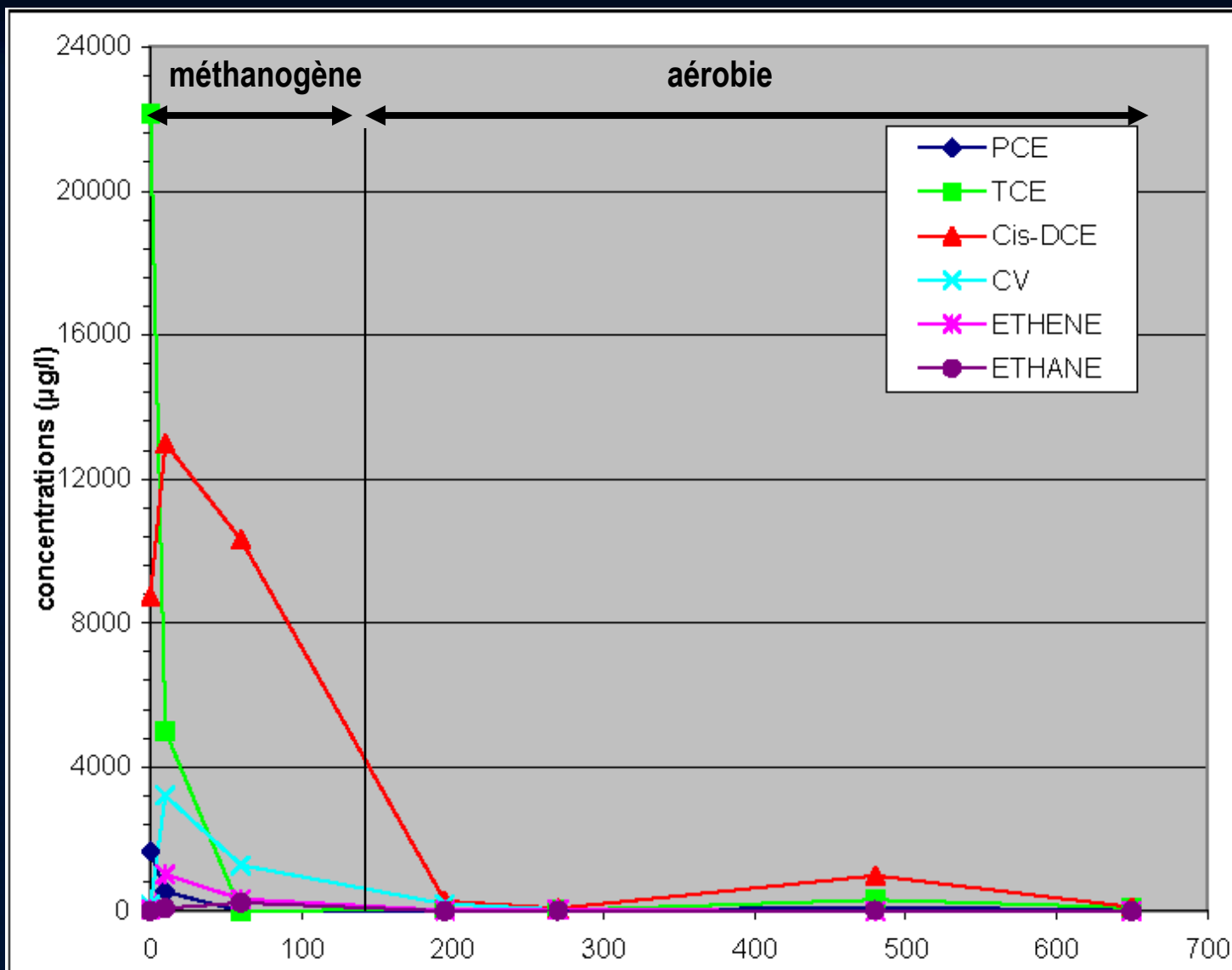
Analyses regroupées en 6 « packs »

- Analyses sur site avec sondes et spectromètre
  - « Pack électrochimie » : pH, T°C, Cond., O<sub>2</sub> dissous, POR
  - « Pack colorimétrie » : Alcalinité, Fe<sup>2+</sup>
- Analyses au laboratoire
  - « Pack volatils »: organo-chlorés, hydrocarbures (BTEX, TMB...)
  - « Pack anions » : Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>
  - « Pack M-E-E »: éthène, éthane, méthane
  - « Pack COD » (méthode NPOC)

*Paramètres non retenus : AGV, Fe<sup>3+</sup>, Mn<sup>4+</sup>, S<sup>-</sup>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, analyse isot., microcosmes, PCR*



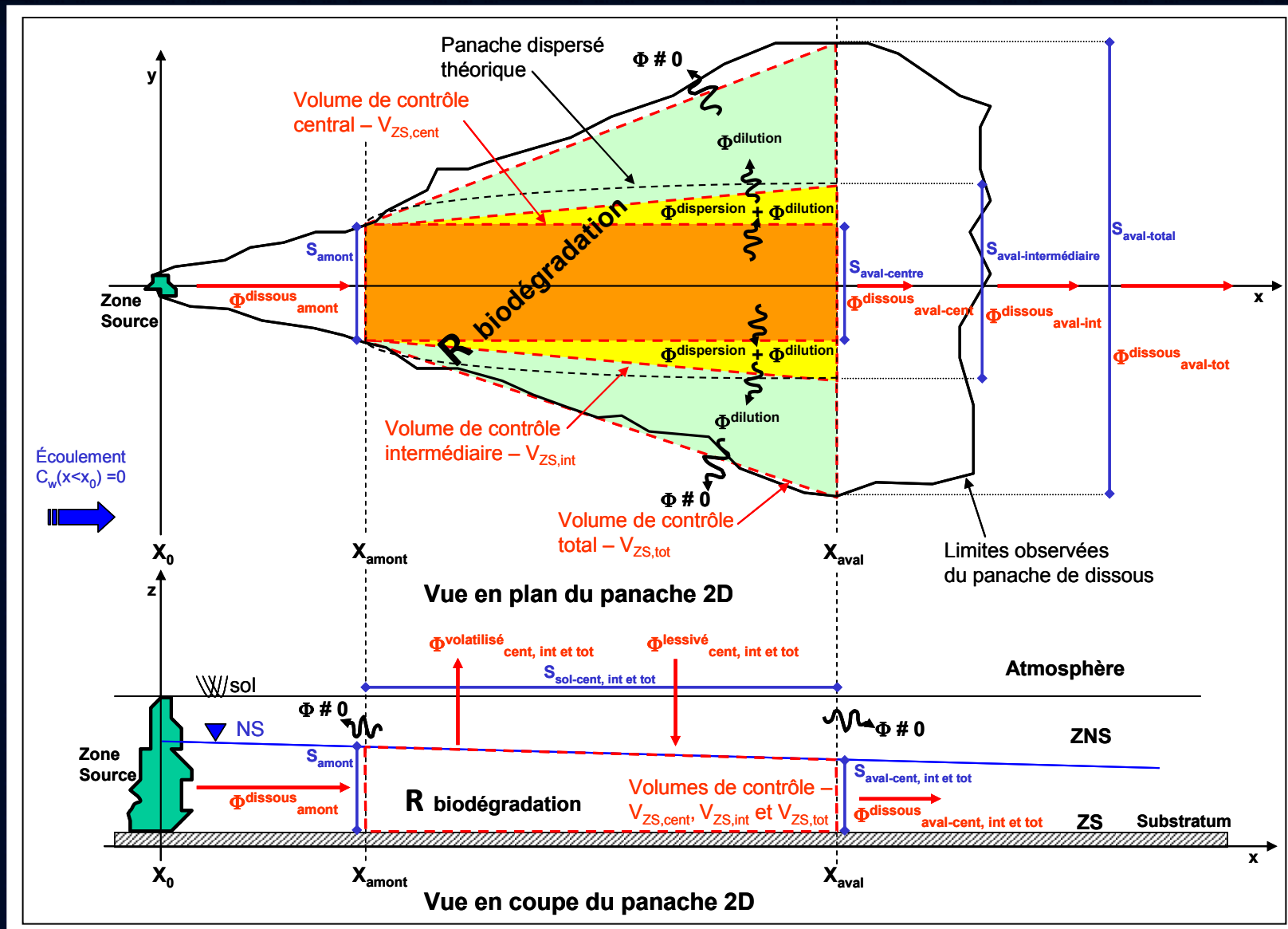
## Etape 2 : résultats Site A



## Etape 2 : expertise des données

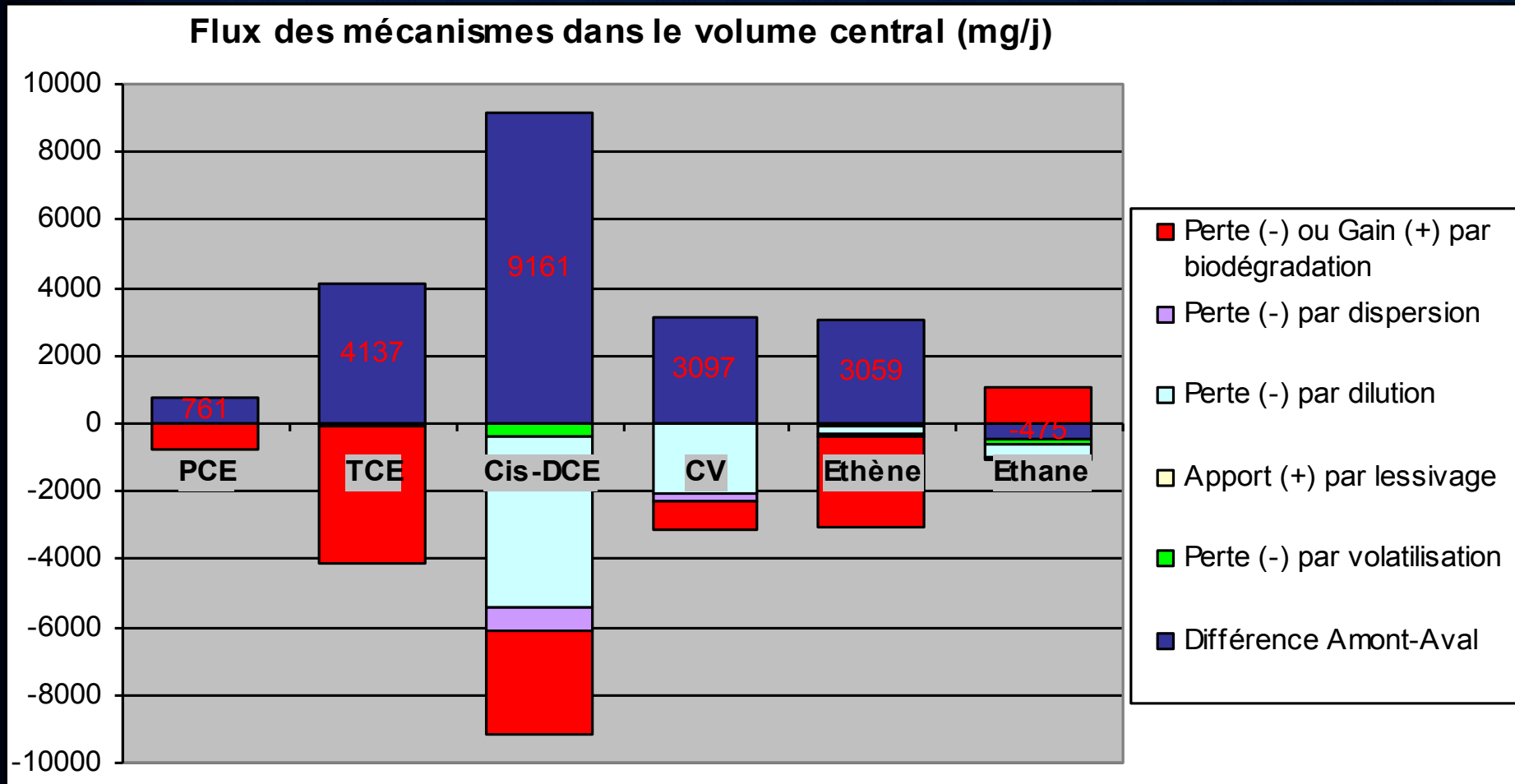
SITE A		AMONT	SOURCE	PANACHE			
			Pz9	Pz11	Pz25	PzA	PzC
Distance à la source (m)		-250	0	10	65	190	470
Paramètres	Seuil	Mesure	Mesure	Mesure	Mesure	Mesure	Mesure
<b>CARACTERISATION DE LA BIODEGRADATION DES ORGANO-CHLORES ALIPHATIQUES</b>							
Chloroéthènes et intermédiaires métaboliques (µg/L)	PCE	0	129	537	26	18	114
	TCE	0	22 153	147	71	55	313
	cis-DCE	0	8 734	21 665	265	281	990
	CV	0	172	3 207	96	202	3
	Ethène	0	58	1 026	18	24	0
	Ethane	0	3	84	135	4	27
Taux de déchloration (%)	> 60%				74		
	de 40 à 60 %			53		59	
	de 20 à 40 %		24				39
	de 5 à 20 %						
	< 5%						
Ethène + Ethane (µg/L)	20 à 200	0	61	1110	153	28	27
Chlorures (mg/L)	> 2 fois concentration amont (mg/L)	198 et 469	323	237	162	279	174
<b>CARACTERISATION DU REDOX IN SITU</b>							
Méthane (mg/L)	> 1 mg/L	0	0.85	17	21.1	0.66	1.01
Sulfates (mg/L)	< 20 mg/L	55 et 100	95.2	73.2	22.7	128	36
Fer II (mg/L)	> 2 mg/L	1.2	6.3	10.2	18.1	2.08	0.14
Nitrates (mg/L)	< 1 mg/L	2	0	0	0	0	9.3
Oxygène dissous (mg/L)	< 0.5 mg/L	0.2 et 0.8	0.07	0	0.1	0.1	1.29
Potentiel Oxydo réduction (mV)	Eh < + 100 mV	225	2	-54	25	274	298
	POR < -100 mV	11	-212	-265	-186	60	81
Alcalinité (mg/L)	> 2 fois concentration amont (mg/L)	160	200	260	1260	280	260
<b>CARACTERISATION DES SOURCES DE CARBONE</b>							
COD-NPOC (mg/L)	> 10 mg/L	7	10	16	180	4.9	9.5
COV (BTEX + Alkyl-benzènes + naphtalène) (mg/L)	> 2 mg/L	0.001	0	0.036	0.034	0.001	0.005

# Etape 3 / panache dissous : bilan de masse entre 2 sections de nappe



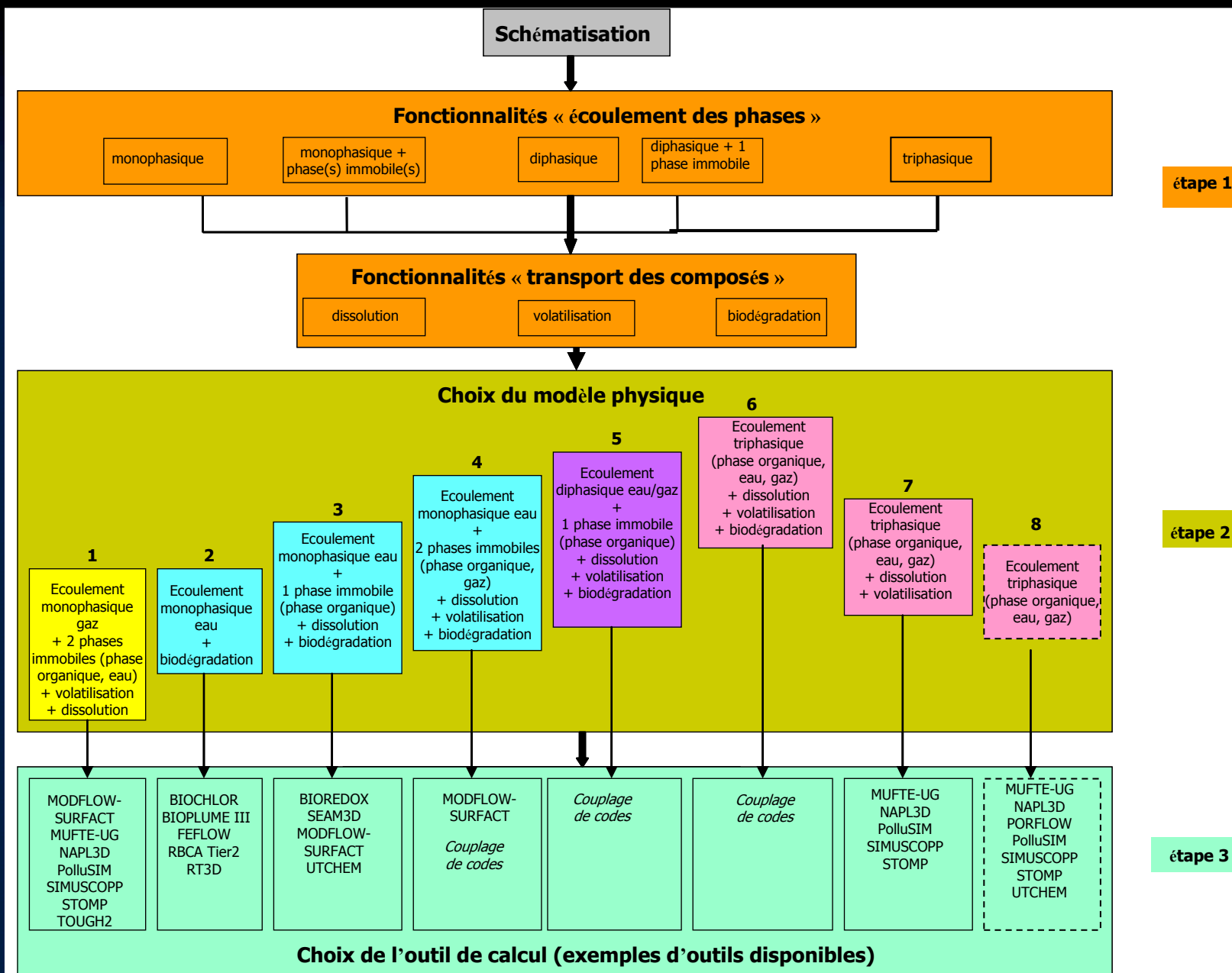


# Etape 3 / panache dissous : bilan de masse entre 2 sections de nappe



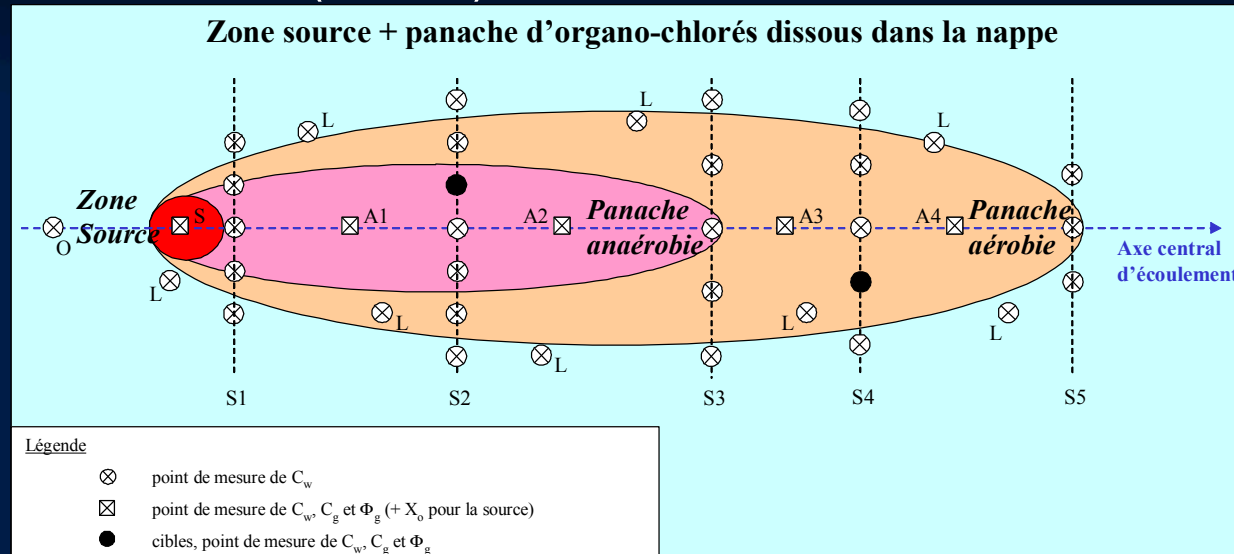
# Etape 4 : prévision des concentrations à terme

## Choix de l'outil de calcul



# Etape 5 : surveillance à long terme d'un site

- Réseau de points de mesure (2D/3D)



- Paramètres à analyser et fréquence de mesure :

- Phase I (4x/an pdt 2 ans) : h nappe et eau surface, Q pomp/inj, conditions météo, 6 « packs analytiques »
- Phase II
  - zone source (1x/5 ans) : paramètres physiques (h, Q météo, ...), composition phase organique, organo-chlorés dans l'eau
  - panache dissous ( $\leq 1x/an$ ) : paramètres physiques (h, Q météo, ...), 6 « packs analytiques »



Mise en œuvre de stratégies d'interprétation des données plus robustes que des cartographies et graphes d'évolution (bilans de masse, modélisations ...)



# Pour en savoir plus ...

Disponibilité : ADEME service doc. et prochainement sur [www.ademe.fr](http://www.ademe.fr) et <http://www.sites-pollues.ecologie.gouv.fr/OutilsMethodologiquesMO.html>

**BURGEAP™** **ifp** **IMFT**

**ADEME**

**Programme R&D MACAOH (2001-2006)**  
Modélisation, Atténuation, Caractérisation dans les  
Aquifères des composés Organo-Halogénés

Atténuation naturelle des composés  
organo-chlorés aliphatiques dans les  
aquifères

**Guide méthodologique**

**BURGEAP™** **ifp** **IMFT**

**ADEME**

**Programme R&D MACAOH (2001-2006)**  
Modélisation, Atténuation, Caractérisation dans les  
Aquifères des composés Organo-Halogénés

Caractérisation dans les aquifères  
d'une zone source constituée  
d'organo-chlorés aliphatiques

**Guide méthodologique**

**BURGEAP™** **ifp** **IMFT**

**ADEME**

**Programme R&D MACAOH (2001-2006)**  
Modélisation, Atténuation, Caractérisation dans les  
Aquifères des composés Organo-Halogénés

Modélisation du devenir des composés  
organo-chlorés aliphatiques dans les  
aquifères

**Guide méthodologique**

Formations « Atténuation Naturelle organo-chlorés » (BURGÉAP Formation, [www.burgeap.fr](http://www.burgeap.fr)) :

- bureaux d'études : 20 & 21 septembre 2007
- maîtres d'ouvrage et administrations : 15 & 16 novembre 2007