



Software for the Assessment of Mass Balance and Biodegradation in Aquifers Version 1.0

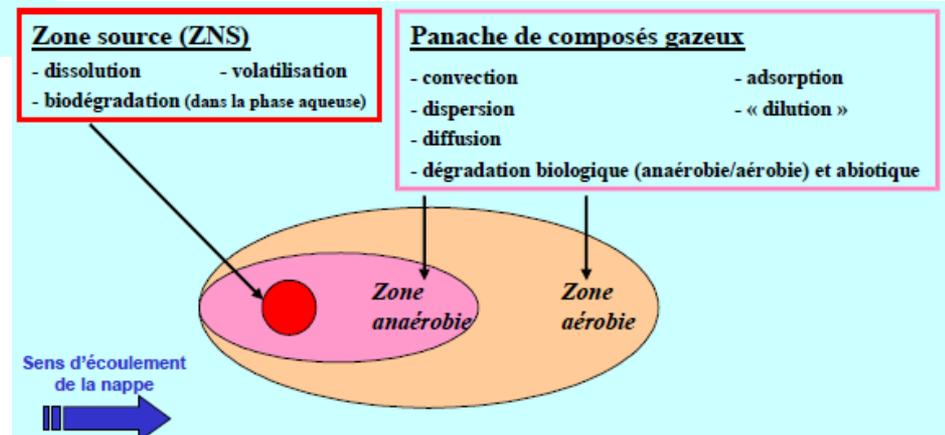
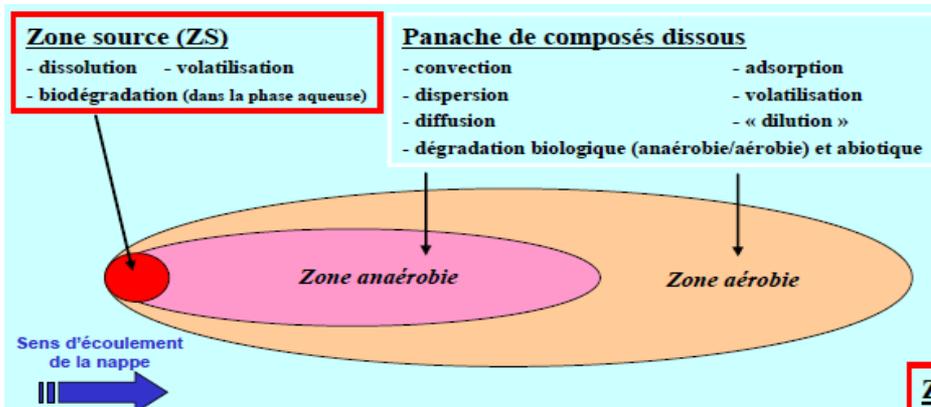
Commission technique UPDS du 07/04/2015

Co-financement ADEME



L'atténuation naturelle (AN) :

- « l'ensemble des processus naturels qui concourent à la diminution spatio-temporelle d'un panache de pollution (composés dissous et/ou vapeurs). » (Saada et al, 2013)



- L'AN comme **mesure de gestion** entre dans le cadre de la méthodologie nationale SSP (Circulaire 8/02/2007)

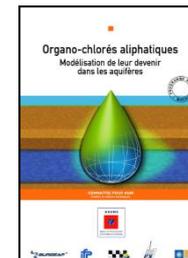
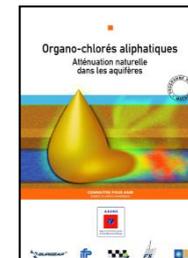
Cette option est retenue :

- lorsque l'impossibilité de suppression des pollutions a été démontrée ou qu'il n'apparaît pas souhaitable, dans une logique de développement durable et de bilan environnemental global, de poursuivre plus en avant les opérations de dépollution ;
- lorsqu'il est démontré que les niveaux résiduels de pollution sont compatibles avec les usages constatés ou envisagés des milieux ;
- à condition d'être accompagnée d'une surveillance appropriée des milieux.

Extrait de la circulaire de fev. 2007 - l'annexe 2 – chapitre 4.4.3 la régénération ou l'atténuation naturelle

- Parmi les protocoles et les documents pour étudier la faisabilité de l'AN comme mesure de gestion (cités dans l'annexe 2) :

- Guide du projet ATTENA (Saada et al, 2013)
- Rapport BRGM « état des connaissances », (Saada et al, 2006)
- 3 Guides du programme MACAOH (Côme et al, 2006)



- Extrait du protocole ATTENA (Saada et al, 2013)

Dans le cadre de ce document, « la mesure de gestion d'un site par Atténuation Naturelle des polluants dissous dans les eaux souterraines ou des vapeurs dans l'air des sols » comprend :

- la mise en évidence des processus d'AN : processus physiques, chimiques et biologiques qui, dans des conditions favorables, agissent sans intervention humaine et réduisent la masse, la toxicité, la mobilité, le volume, le flux ou la concentration de polluants dans le milieu souterrain. Ces mécanismes comprennent les phénomènes de biodégradation, dégradation abiotique (chimique), dispersion, dilution, adsorption, volatilisation, les stabilisations chimiques ou biologiques, la transformation des polluants.
- la démonstration que les performances des processus d'AN permettent d'atteindre le niveau d'objectifs fixé par le plan de gestion. Cette démonstration de la solution de gestion par AN est proposée dans le cadre du plan de gestion présenté aux autorités compétentes.
- la définition et l'application d'un plan de surveillance permettant de s'assurer du respect de la solution de gestion par AN à atteindre les objectifs fixés dans le cadre du plan de gestion.

Conforme au
protocole
ATTENA

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

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 - Prévision 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

Caractérisation du site et des mécanismes :

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



Le module qualitatif de SAMBBA

- Objectif : déterminer si la biodégradation est active et dans quelles conditions
- Principe : expertise sur les données
 - Analyses des conditions biogéochimiques avec un bilan sur les accepteurs & donneurs d'électrons
 - Comparaison des concentrations avec des valeurs seuils
 - Détermination spatiale des conditions redox

Paramètres d'entrée (fichiers SIG) :

- axe du panache
- données « qualité » de la nappe

Pack analytique	Objectif
Pack « Volatils » : organo-chlorés et hydrocarbures pétroliers	Chloroéthènes, chloréthanes, chlorométhanes, BTEX et dérivés
Pack « Anions »	Chlorures
	Nitrates
	Sulfates
Pack « M-E-E »	Méthane, éthène et éthane
Pack « COD-NPOC »	Carbone Organique Dissous (sans prise en compte des COV, mesurés au moyen du Pack « Volatils »)
Pack « Electrochimie » (mesure sur site)	Oxygène dissous (mg/L)
	pH
	Potentiel d'oxydo-réduction (mV)
	Température (°C)
	Conductivité (µS/cm)
Pack « Colorimétrie » (mesure sur site)	Alcalinité (mg/L de CaCO ₃)
	Fer ferreux (mg/L)

Le module qualitatif de SAMBBA



SAMBBA - [Qualitative Assessment - TUTOquali]

DataBase Qualitative Assessment Quantitative Assessment ?

Input Data Chloroethenes Graphs Chloroethanes Graphs Chloromethanes Graphs Other Graphs

Select plume centerline file :

Select monitoring wells file :

Inform the number of wells :

MONITORING WELLS	A12	A9	A11	A25	Pz A	Pz C	PPB2
Location	Upstream (ref)	Source	Downstream	Downstream	Downstream	Downstream	Downstream
Distance from the source	-384	0	7	62	188	474	658
EA / ED Zone			Methanogen...				

BIODEGRADATION OF CHLORINATED ALIPHATIC HYDROCARBONS							
>> CHLOROETHENES, ETHENE & ETHANE							
PCE (µg/L)	0.00	129.00	537.00	26.00	18.00	114.00	17.00
TCE (µg/L)	0.00	22153.00	147.00	71.00	55.00	313.00	99.00
cis-DCE (µg/L)	0.00	8734.00	21665.00	265.00	281.00	990.00	112.00
trans-DCE (µg/L)	0.00	51.00	49.00	0.00	15.00	0.00	0.00
11-DCE (µg/L)	0.00	18.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
VC (µg/L)	0.00	172.00	3207.00	96.00	202.00	3.00	12.00
Ethene (µg/L)	0.00	58.00	1026.00	18.00	24.00	0.00	0.40
Ethane (µg/L)	0.00	3.00	84.00	135.00	4.00	27.00	0.90
Max dechloration rate (%)	NC	34.62	59.59	76.88	64.64	46.57	42.44
Min dechloration rate (%)	NC	12.96	46.93	70.81	54.08	31.92	25.96

>> More details
>> CHLOROETHANES & ETHANE

>> CHLOROMETHANES & METHANE
>> FINAL PRODUCTS

Ethene + Ethane (µg/L)	0.00	61.00	1110.00	153.00	28.00	27.00	1.30
Acetic Acid (µg/L)	-	-	-	-	-	-	-
Free chloride (mg/L)	469.00	323.00	237.00	162.00	279.00	174.00	78.70

OXYDATION-REDUCTION CONDITIONS							
Methane (mg/L)	0.01	0.85	17.00	21.06	0.66	1.01	0.02
Sulfates (mg/L)	102.00	96.60	73.20	22.70	128.00	36.00	62.30
Sulfide (mg/L)	0.03	0.26	0.06	0.02	ND	0.00	ND
Total iron (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-
Ferrous iron (mg/L)	1.20	6.30	10.20	18.10	2.08	0.14	0.02
Manganese (mg/l)	-	-	-	-	-	-	-
Nitrates (mg/L)	0.00	2.75	0.00	0.00	0.00	9.30	0.00
Ammonium (mg/L)	0.00	1.84	5.41	518.00	0.00	0.00	0.00
Dissolved oxygen (mg/L)	0.16	0.07	0.00	0.11	0.10	1.29	3.22

>> Redox potential							
Eh (mV) - corrected value	225.68	1.52	-54.01	25.14	274.04	298.24	414.17
Temperature (°C)	12.50	15.40	18.80	18.60	14.70	10.40	7.80
ORP (mV) - read value	10.00	-212.00	-265.00	-186.00	60.00	81.00	195.00
Alkalinity (mg/l)	160.00	200.00	260.00	1260.00	280.00	260.00	160.00

Workflow for the qualitative assessment of natural attenuation

- Before starting, make sure that the input data files are prepared. Two files are required :
 - a shape file defining the main plume centerline (one polyline file only)
 - a shape file defining monitoring wells and their associated data (point file) - these number and type of data are listed in TABLE_POLLUANTS.xlsx (template folder)
- Import the plume centerline shape file and the monitoring well shape file
- Enter the number of wells to consider in the qualitative assessment
- In the table, select the wells to consider ('Name' combobox) along the centerline (wells should be ranked from upstream to downstream) and select their location from the source ('Location' combobox)
- Analyse the results displayed on the table and check out the graphics tab for their visualization
- Choose the electron acceptor / donor zone according to the analysis of results ('EA / ED zone' combobox)
- Don't forget to save the ongoing work!

Legend

Dechloration rate (%) :	< 5	5 - 20	20 - 40	40 - 60	> 60
Ethene + Ethane (µg/l) :	< 20	20 - 200	> 200		
Free chloride (mg/l) :	< 2 x C_upstream	> 2 x C_upstream			
Methane (mg/l) :	< 1	> 1			
Sulfates (mg/l) :	> 2 x C_upstream	refer to UG*	< 20		
Ferrous iron (mg/l) :	< 2	> 2			
Nitrates (mg/l) :	> 1	< 1			
Dissolved oxygen (mg/l) :	> 0.5	< 0.5			
Eh (mV) :	> + 100	< + 100			
ORP (mV) :	> - 100	< - 100			
Alcalinity (mg/l) :	< 2 x C_upstream	> 2 x C_upstream			
DOC-NPOC (mg/l) :	< 10	> 10			
Non halogenated VOC (mg/l) :	< 2	> 2			

* the color classes for sulfate concentrations depend on the values of other parameters, please refer to the User's Guide for details

Le module quantitatif de SAMBBA

- Objectif : calcul bilan des flux et des vitesses de biodégradation
- Principe : bilan de flux

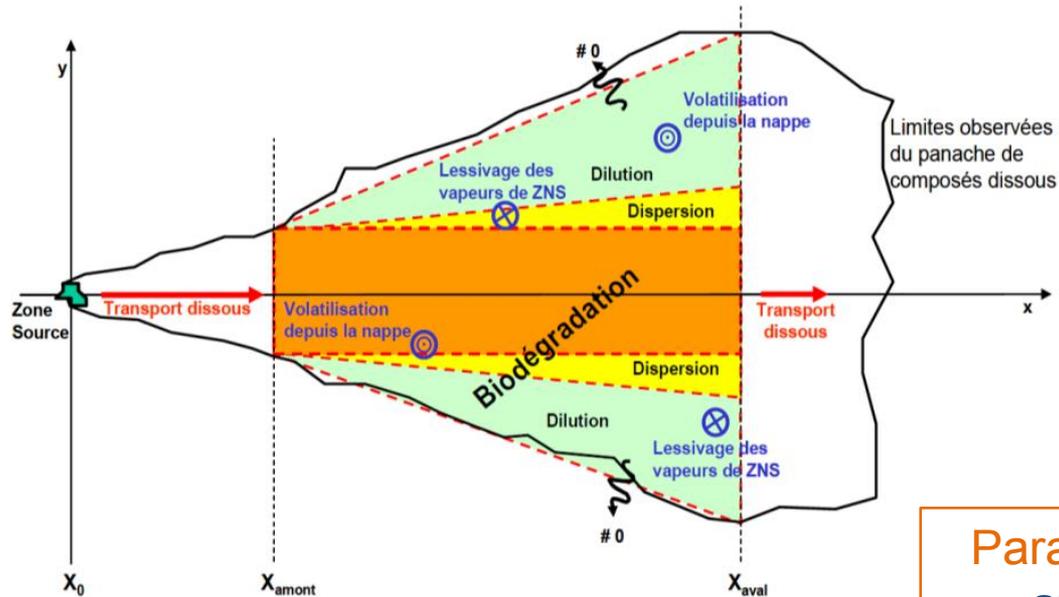


Schéma de principe du bilan de flux

Paramètres d'entrée (fichiers SIG) :

- axe du panache
- données « qualité » de la nappe
- délimitation du volume sur lequel le bilan de flux est fait
- Paramètres complémentaires (porosité, v_{Darcy} , épaisseur d'aquifère, flux volatilisés)

Le module quantitatif de SAMBBA

SAMBBA - [Quantitative Assessment - TUTOquant]

DataBase Qualitative Assessment Quantitative Assessment ?

Input Results in the Plume

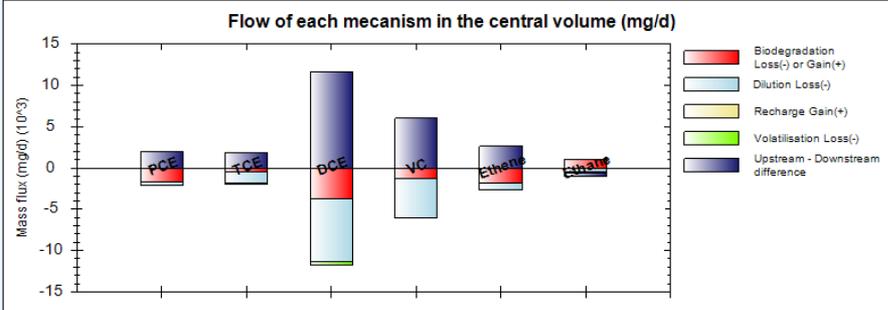
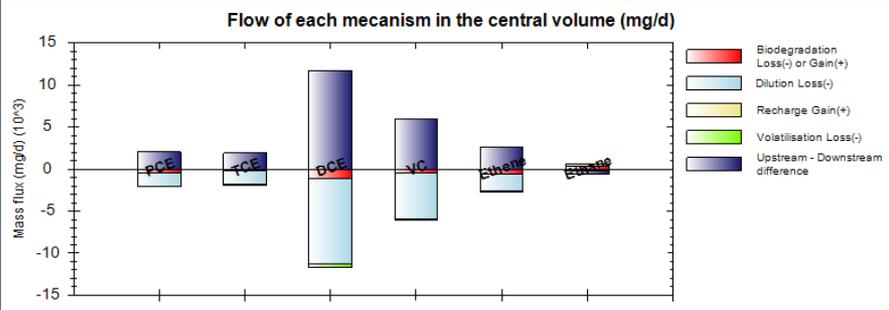
Assumption 1: the biodegradation occurs in the whole plume

		PCE	TCE	DCE	VC	Ethene	Ethane
Residual total balance (mg/d)		1635.813	455.692	3672.666	1318.238	1880.013	-1049.92
Apparent biodegradation rate (µg/l/d)		0.765	0.213	1.717	0.616	0.879	-0.491
Intrinsic biodegradation rate (µg/l/d)		0.765	0.819	2.321	2.113	1.827	1.509
1st order biodegradation constant (1/year)		0.901	0.806	0.179	0.669	1.339	3.506
Mass balance on the central region							
INFLUX (mg/d)	(upstream) convection	2109.12	2090.626	28503.547	6599.258	2986.942	202.397
	recharge	0.002	0.039	5.406	0.017	0.002	0.002
	(downstream) convection	-61.339	-177.103	-16796.388	-585.283	-329.266	-667.692
	volatilisation	-0.823	-63.94	-408.886	-34.028	-71.624	-150.382
OUTFLUX (mg/d)	dispersion	-	-	-	-	-	-
	dilution (*)	-1543.284	-1709.311	-10172.845	-5574.071	-2007.188	292.399
	biodegradation	-503.676	-140.31	-1130.835	-405.893	-578.867	323.276
	convection gain	100.	99.998	99.981	100.	100.	99.999
%	recharge gain	9.612e-005	0.002	0.019	2.512e-004	6.787e-005	0.001
	convection loss	-2.908	-8.471	-58.916	-8.869	-11.023	-329.889
	volatilisation loss	-0.039	-3.058	-1.434	-0.516	-2.398	-74.3
	dispersion loss	-	-	-	-	-	-
%	dilution loss	-73.172	-81.759	-35.683	-84.465	-67.199	144.467
	biodegradation loss	-23.881	-6.711	-3.967	-6.151	-19.38	159.722
	Mass balance on the total region						
INFLUX (mg/d)	(upstream) convection	2109.12	2090.626	28503.547	6599.258	2986.942	202.397
	recharge	0.007	0.127	17.557	0.054	0.007	0.007
OUTFLUX (mg/d)	(downstream) convection	-470.64	-1427.4	-23520.48	-5170.56	-874.32	-763.92

(*) Refer to the user guide for details

Assumption 2: the biodegradation occurs in the central region only

		PCE	TCE	DCE	VC	Ethene	Ethane
Residual total balance (mg/d)		1635.813	455.692	3672.666	1318.238	1880.013	-1049.92
Apparent biodegradation rate (µg/l/d)		2.484	0.692	5.576	2.002	2.855	-1.594
Intrinsic biodegradation rate (µg/l/d)		2.484	2.66	7.538	6.863	5.935	4.901
1st order biodegradation constant (1/year)		4.935	2.405	0.602	2.042	4.99	4.21
Mass balance on the central region							
INFLUX (mg/d)	(upstream) convection	2109.12	2090.626	28503.547	6599.258	2986.942	202.397
	recharge	0.002	0.039	5.406	0.017	0.002	0.002
	(downstream) convection	-61.339	-177.103	-16796.388	-585.283	-329.266	-667.692
	volatilisation	-0.823	-63.94	-408.886	-34.028	-71.624	-150.382
OUTFLUX (mg/d)	dispersion	-	-	-	-	-	-
	dilution (*)	-411.147	-1393.93	-7631.013	-4661.726	-706.042	-434.245
	biodegradation	-1635.813	-455.692	-3672.666	-1318.238	-1880.013	1049.92
	convection gain	100.	99.998	99.981	100.	100.	99.999
%	recharge gain	9.612e-005	0.002	0.019	2.512e-004	6.787e-005	0.001
	convection loss	-2.908	-8.471	-58.916	-8.869	-11.023	-329.889
	volatilisation loss	-0.039	-3.058	-1.434	-0.516	-2.398	-74.3
	dispersion loss	-	-	-	-	-	-
%	dilution loss	-19.494	-66.674	-26.767	-70.64	-23.638	-214.549
	biodegradation loss	-77.559	-21.796	-12.883	-19.975	-62.941	518.738
	Mass balance on the total region						
INFLUX (mg/d)	(upstream) convection	2109.12	2090.626	28503.547	6599.258	2986.942	202.397
	recharge	0.007	0.127	17.557	0.054	0.007	0.007
OUTFLUX (mg/d)	(downstream) convection	-470.64	-1427.4	-23520.48	-5170.56	-874.32	-763.92



- SAMBBA : un outil d'aide à l'évaluation de l'atténuation naturelle dans les panaches et les zones sources
- Module qualitatif pour estimer si la biodégradation est actives (+ conditions géochimiques)
 - Compréhension des mécanismes
 - Bilan quadriennal
- Module quantitatif pour calculer le bilan des flux et les vitesses de biodégradation
 - Evaluation analytique des transferts vers les cibles
 - Modélisation numérique : schématisation et calibration du modèle
 - Plan de gestion : choix d'une solution de gestion / pré-dimensionnement de techniques in situ