

Contexte

- > Usine bourguignonne en activité (laminage à froid - étirage)

- > Contexte géologique :
 - **Calcaires du Bajocien et du Bathonien inférieur (Dogger) entaillés par les vallées jusqu'aux marnes liasiques sur lesquelles reposent les alluvions modernes**

 - **Implantation du site : alluvions de la partie basse de la vallée**

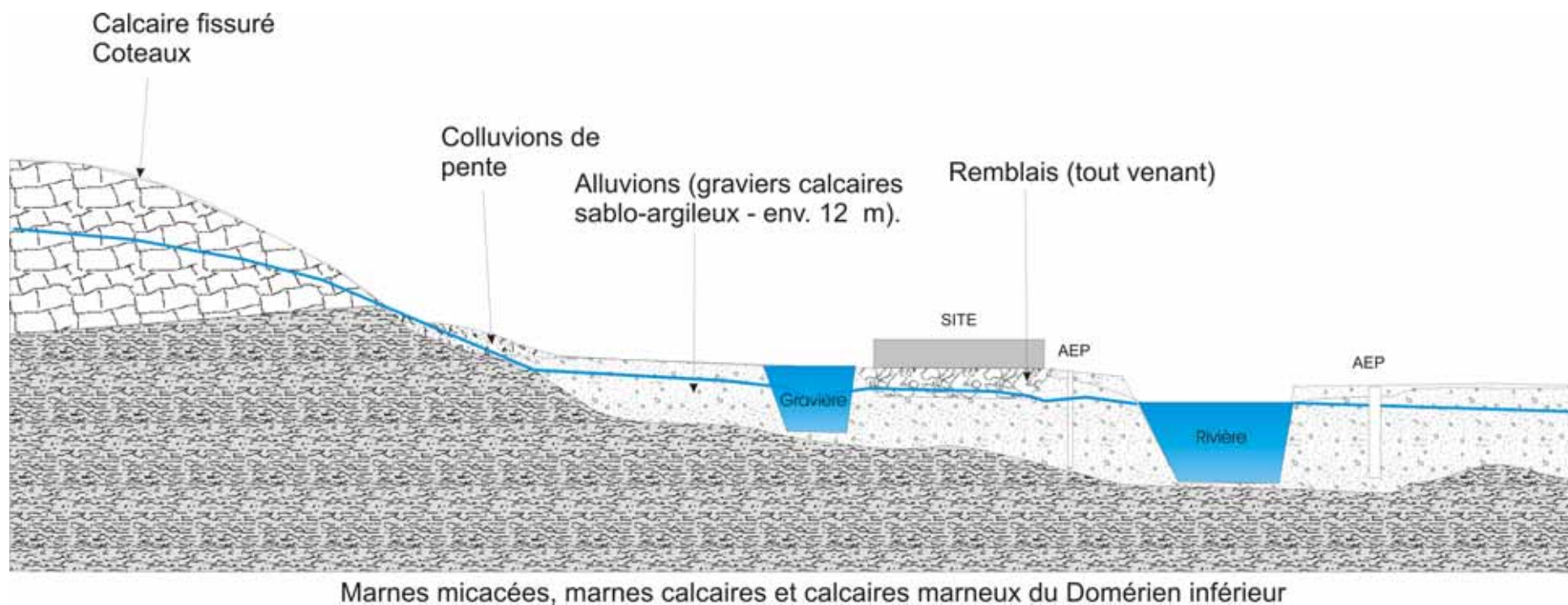
- > Contexte hydrogéologique :
 - **Alluvions : aquifère libre à porosité d'interstices constitué de graviers calcaires sablo-argileux**

 - **Hétérogénéité des terrains : présence de passées graveleuses dans les niveaux fins ou au contraire de lentilles argileuses dans les horizons grossiers**

 - **Epaisseur des alluvions : 12 m**



Coupe hydrogéologique interprétative



> **Usages des eaux souterraines et superficielles :**

- Site localisé entre 2 captages d'alimentation en eau potable :
 - en amont immédiat (captage non utilisé)
 - 500 m en aval (captage utilisé)
- Site localisé à 300 m d'une rivière de catégorie 1 (usages piscicole et récréatif)

> **Perméabilité importante de l'aquifère (1.10^{-3} m/s)**

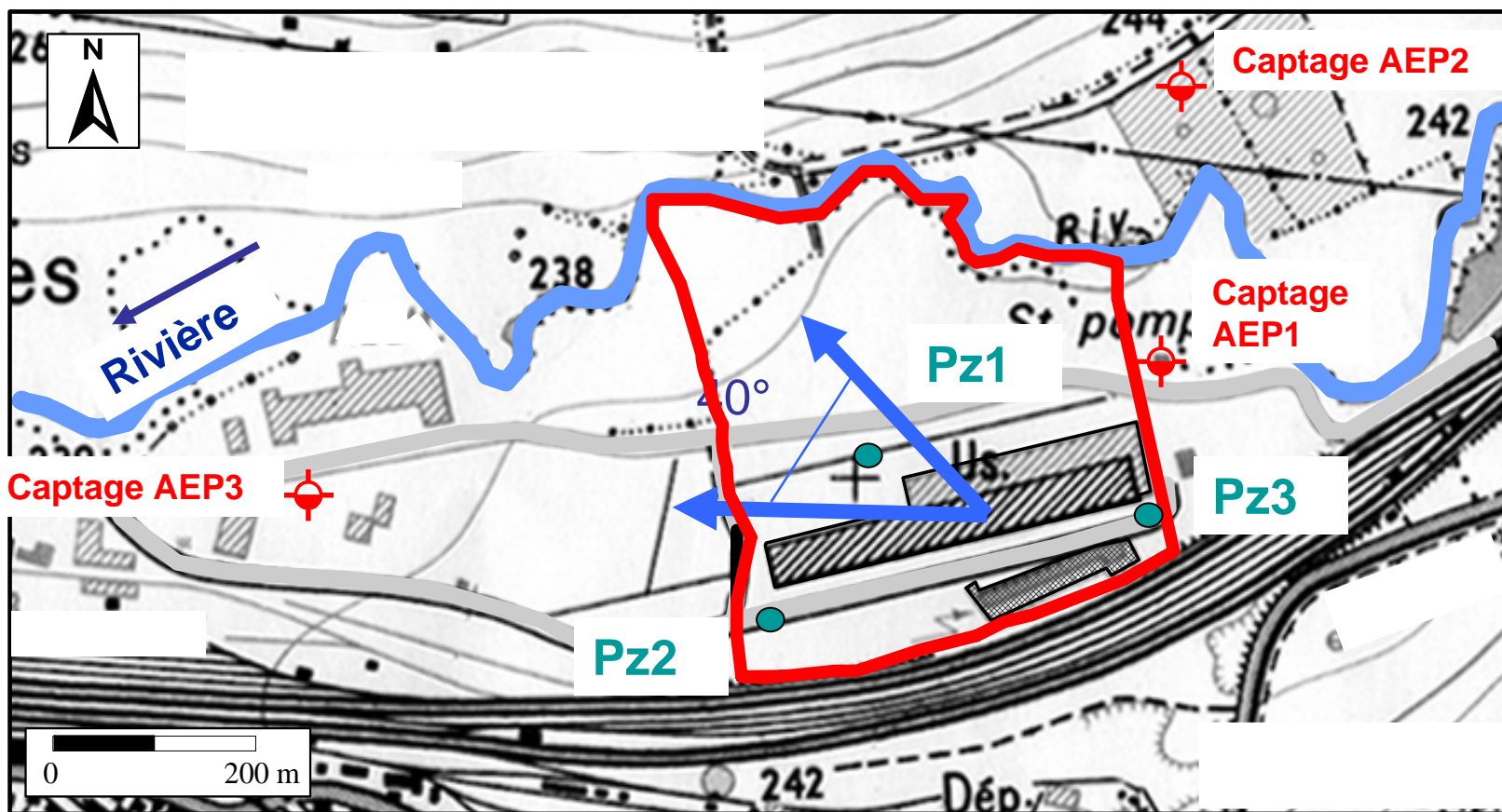
> **Fluctuation importante du toit de la nappe (- 4 à - 8 m)**

> **Variations importantes du sens d'écoulement des eaux (40°)**

> **Surveillance environnementale du site industriel :**

- Arrêté du 2 février 1998 - Section III : Surveillance des eaux souterraines (art. 65 b)

Situation



● : Captage d'eau potable

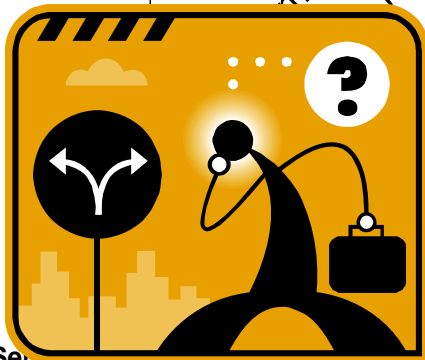
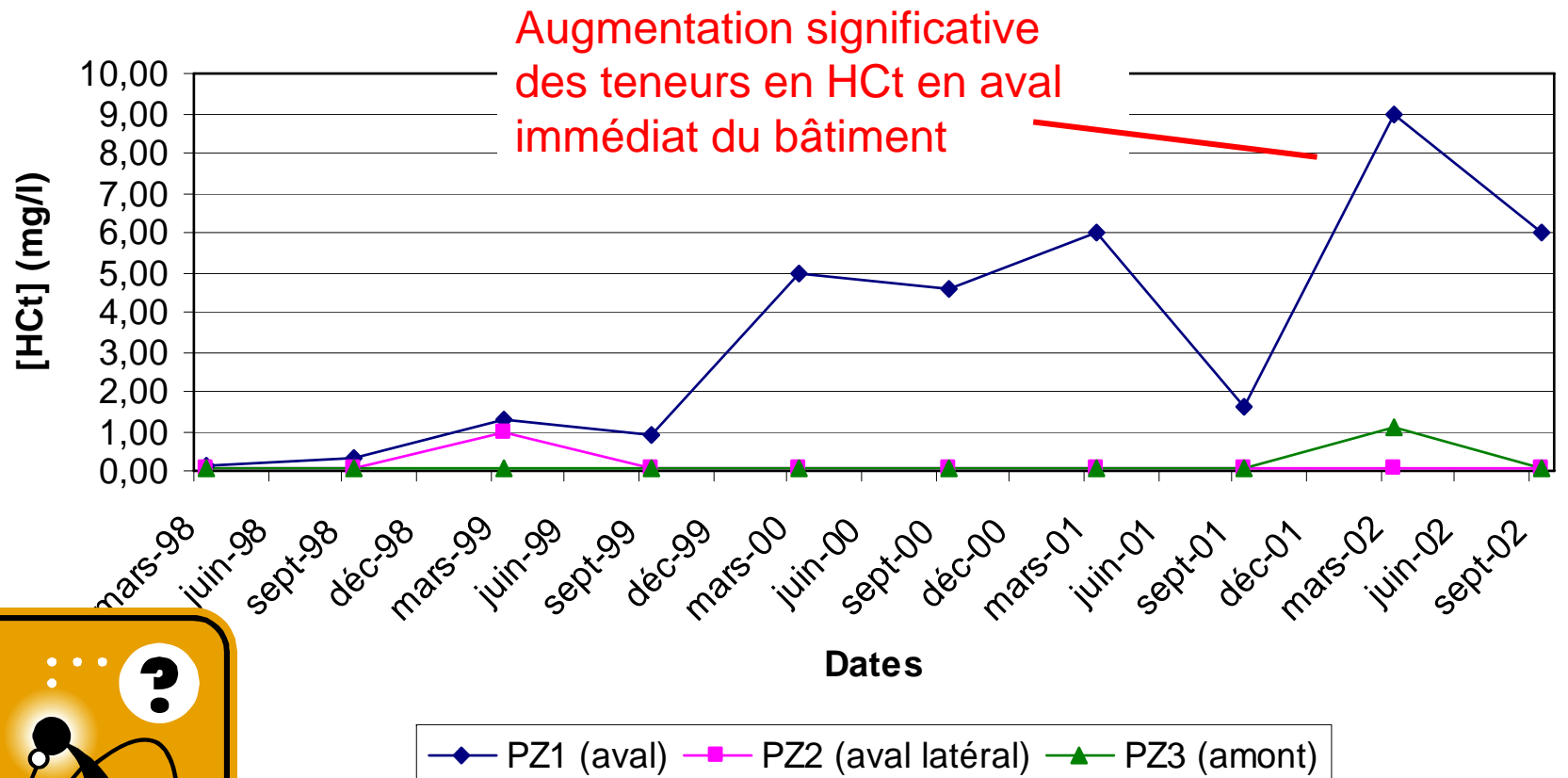
→ : Sens d'écoulement des eaux souterraines

● : Piézomètre

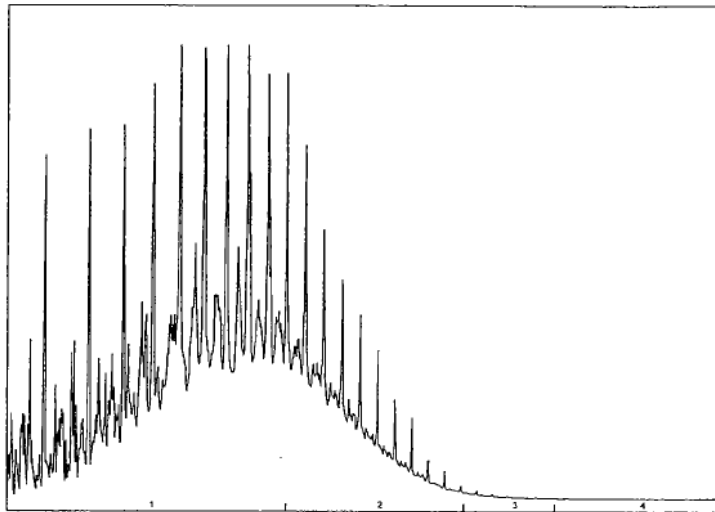
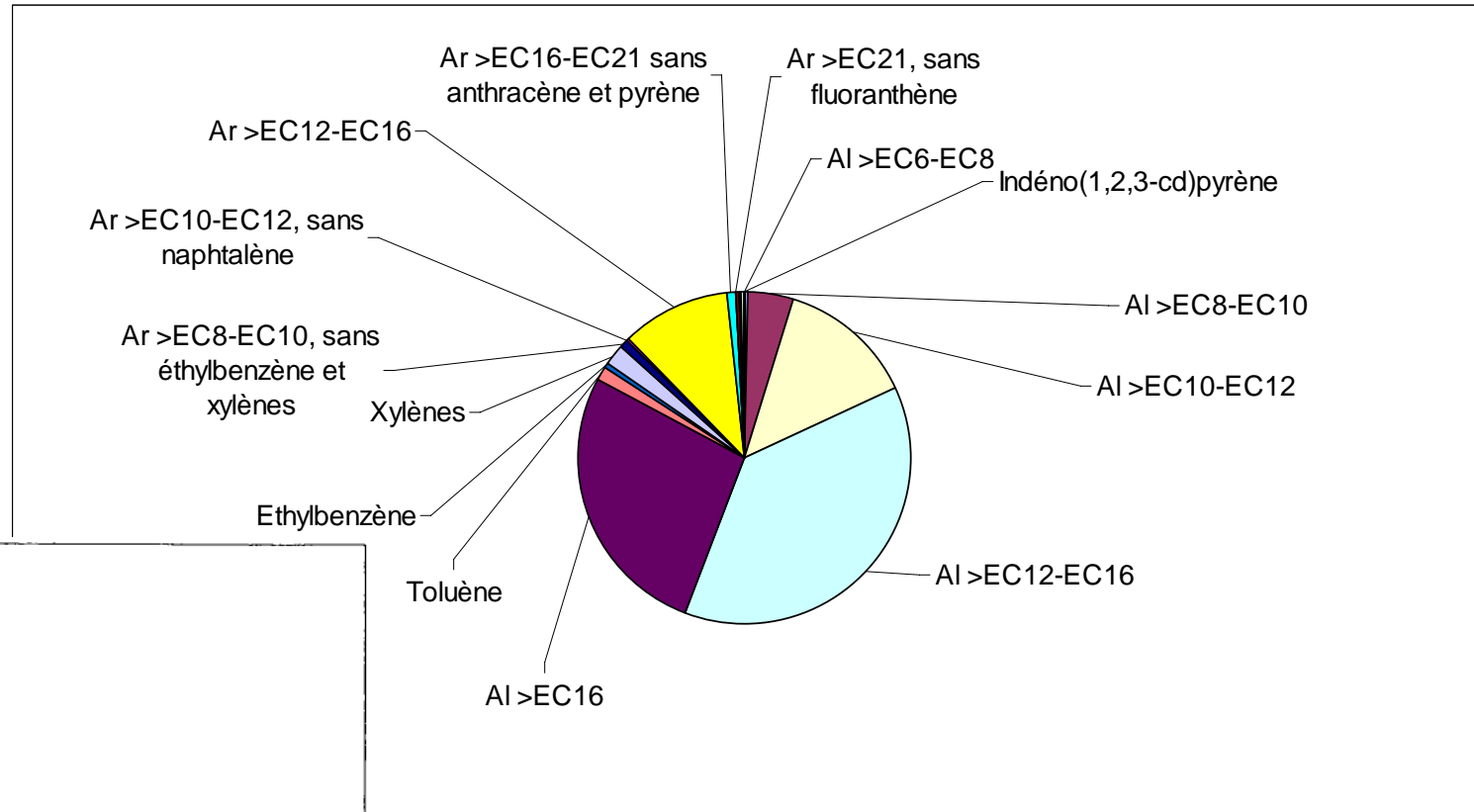


Surveillance des eaux souterraines

Suivis semestriels des teneurs en hydrocarbures totaux



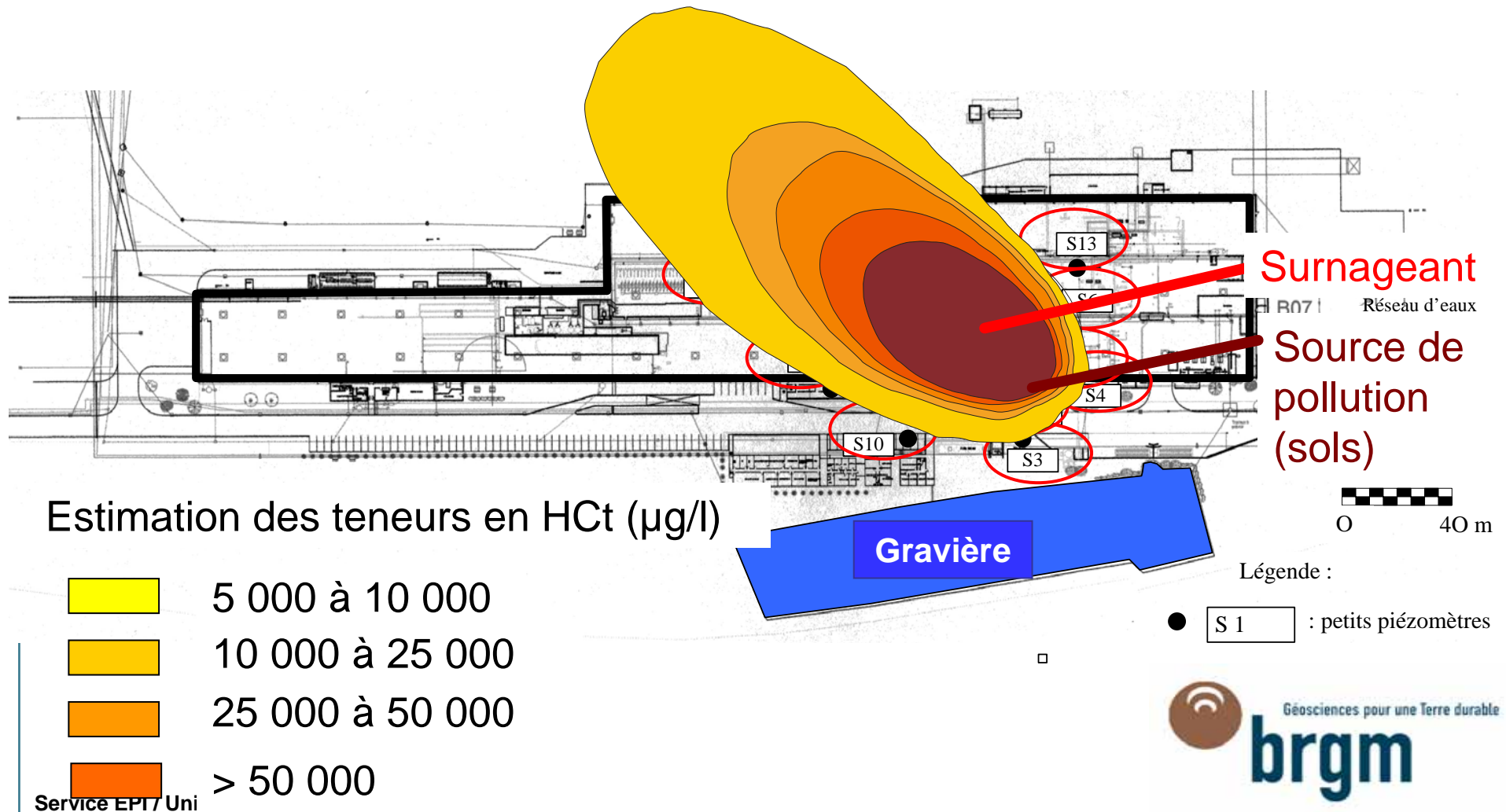
Identification du type de pollution



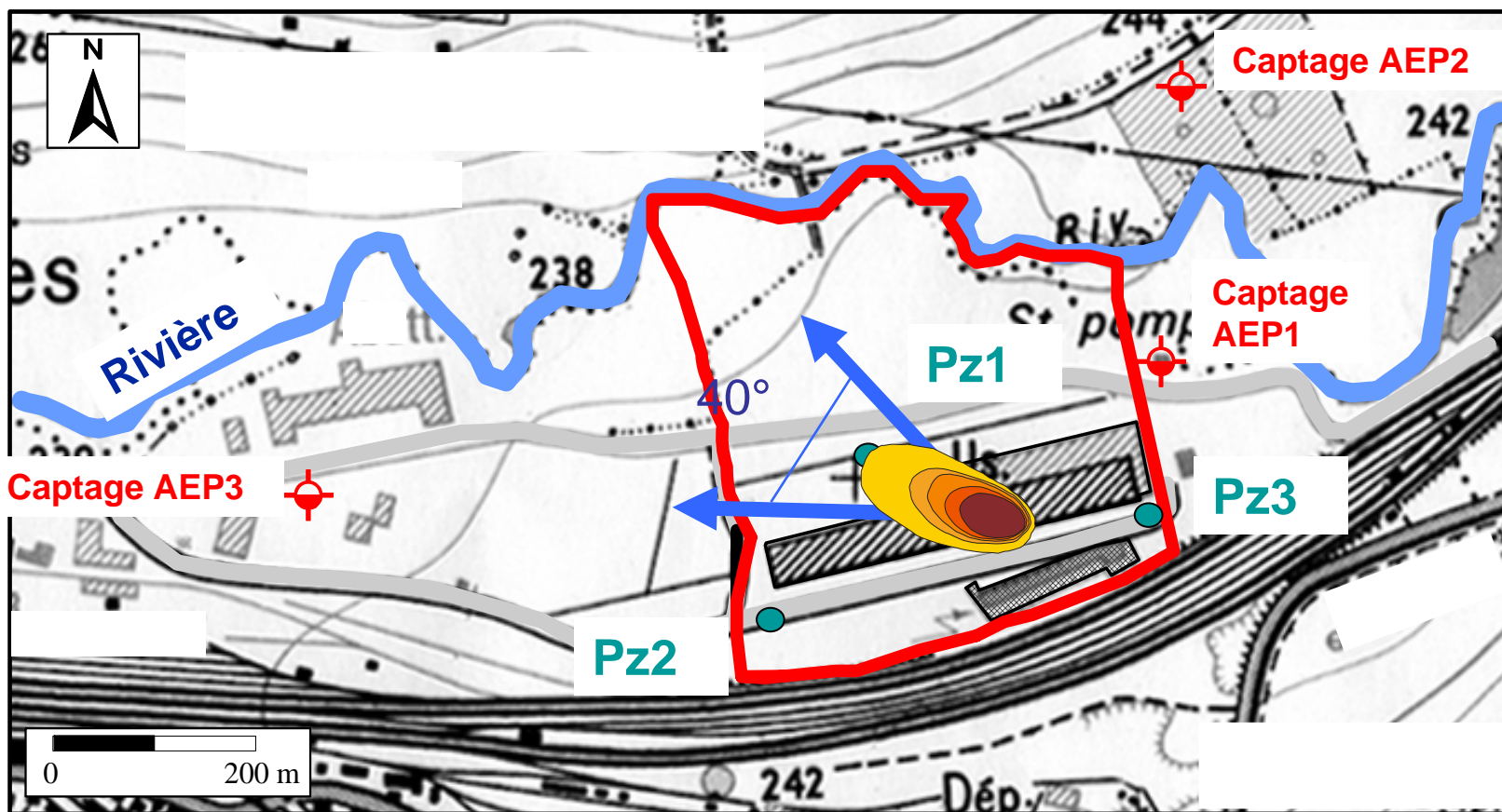
Hydrocarbures pétroliers de type gasoil



Identification de la source de pollution et des impacts



Remise en situation



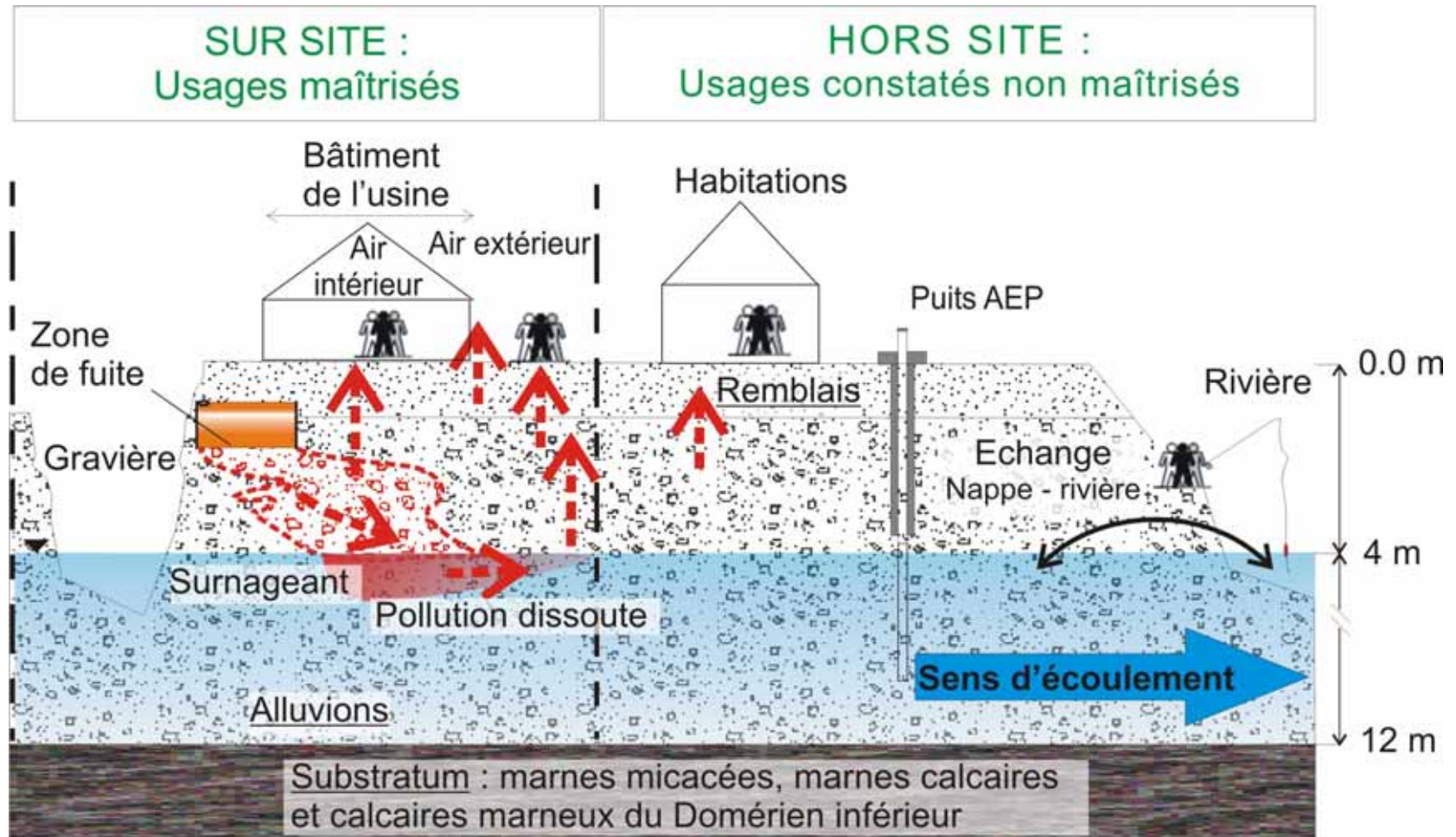
● : Captage d'eau potable

→ : Sens d'écoulement des eaux souterraines

● : Piézomètre



Schéma conceptuel

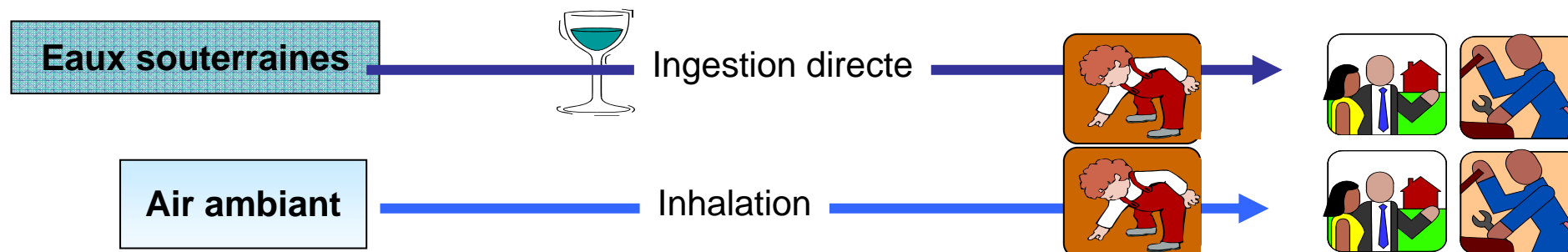


Exposition

1. L'exposition est la manière dont un récepteur (l'homme) entre en contact avec une substance par le biais des voies de transfert. L'exposition est le résultat d'un usage des milieux de transferts par le récepteur.

2. On distingue:

- Les voies d'exposition directe: inhalation et ingestion



- Les voies d'exposition indirecte: ingestion et contact (baignade et activités récréatives)



Prise en compte du milieu air (inhalation)

> Mesures des gaz du sol via des piezairs et dans l'air ambiant (air extérieur et air intérieur) :

- Mesures orientées sur site par des mesures semi-quantitatives (PID + tubes colorimétriques Dräger)
- 12 points de contrôles/mesures

Composés	Concentrations - gaz des sols ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	moy	min	max
Benzène	3,93E+01	1,44E+01	1,55E+02
Toluène	4,17E+01	1,44E+01	1,55E+02
Ethylbenzène	1,52E+02	1,44E+01	6,90E+02
Méta- et Paraxylène	9,57E+02	1,44E+01	5,03E+03
Orthoxylène	8,63E+02	1,44E+01	4,60E+03
Naphtalène	5,37E+01	1,44E+01	1,55E+02
Xylènes (Totaux)	2,67E+03	1,96E+02	9,48E+03
HC ali. C6-C8	2,54E+04	1,36E+03	1,24E+05
HC ali. C8-C10	5,83E+04	1,51E+03	2,50E+05
HC ali. C10-C12	2,51E+04	9,60E+02	6,50E+04
HC ali. C12-C16	1,02E+04	4,80E+02	4,00E+04
HC ar. C8-C10	3,28E+01	2,30E+01	4,45E+02
HC ar. C10-C12	2,62E+01	2,07E+01	5,96E+02
HC ar. C12-C16	2,10E+01	1,43E+01	4,25E+02

> Comparaison à l'environnement témoin (air ambiant) + adéquation des usages et de la qualité des milieux (cf. exposé n°4)

Prise en compte du milieu eaux

- > **Les eaux souterraines sont plus vulnérables que les eaux superficielles (différence de débits)**

- > **Eaux souterraines : paramètres à prendre en compte :**
 - Valeurs réglementaires des eaux destinées à la consommation humaine :
 - benzène : 10 µg/l
 - benzo(a)pyrène : 0,01 µg/l
 - somme : benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(ghi)fluoranthène, indéno(1,2,3, cd)pyrène : 0,1 µg/l

 - Valeurs calculées par une évaluation des risques – ingestion d'eau (EQRS)

- > **Le plan de gestion doit prendre en compte en priorité les milieux eaux souterraines**

- > **Mesures et analyses dans 15 piézomètres (HCt – TPH working group, BTEX, HAP)**



Prise en compte du milieu sols

> Le milieu sols n'est pris en compte que via la problématique de relargage dans les eaux souterraines

> **19 sondages :**

- 80 analyses (HCt – TPH working group, BTEX, HAP) sur la matrice sols
- 6 tests de lixiviation

> **Concentrations au droit de la source de pollution et en aval immédiat :**

	Concentrations en HCT (mg/kg)
Basse	350
Haute	32 460
Moyenne	12 140

> **Volume estimé : 500-800 m³ de sols pollués (en première approche)**

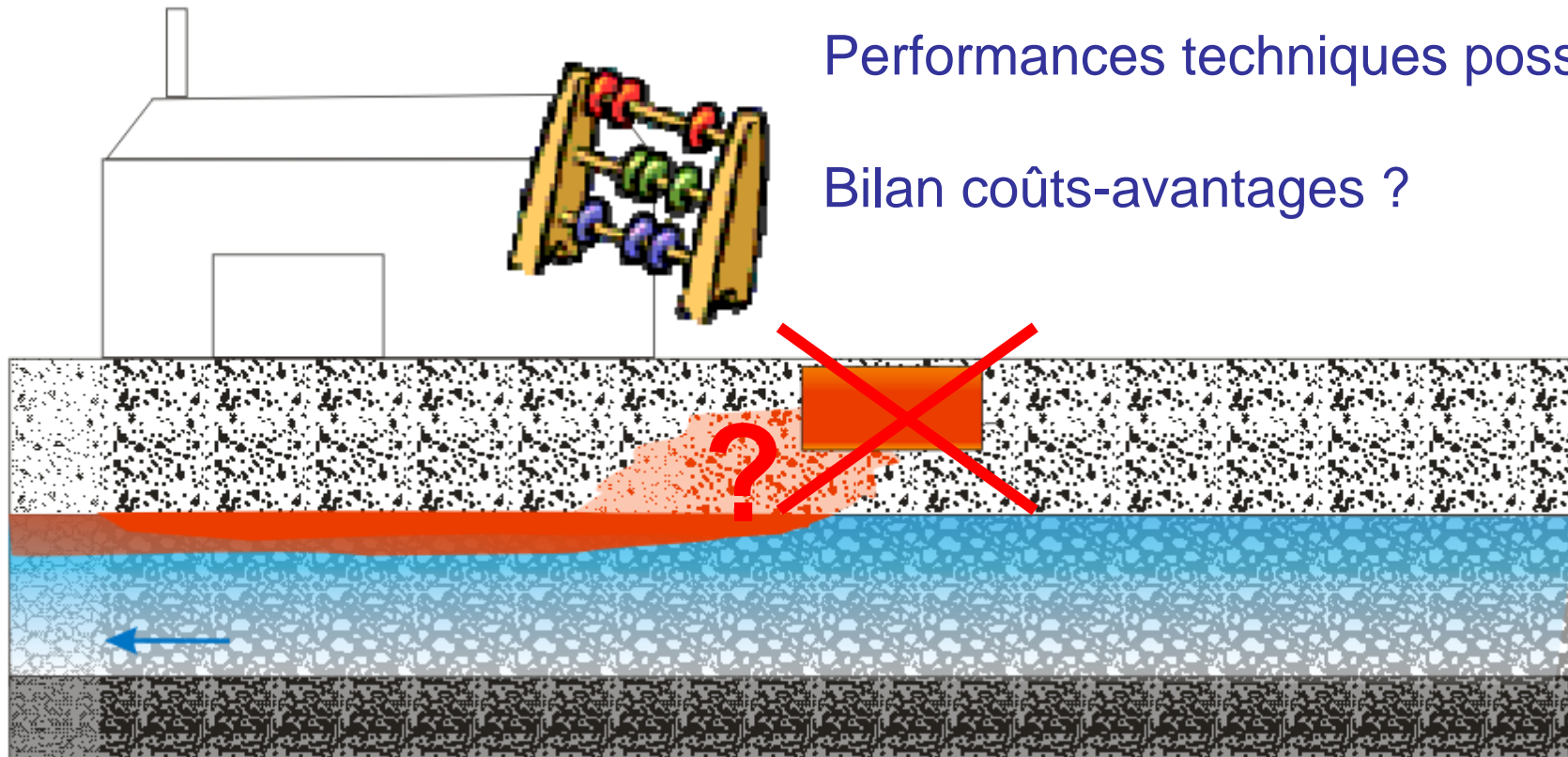


Maîtrise de la source en zone non saturée (sols) 1/4

Référentiel ?

Performances techniques possibles ?

Bilan coûts-avantages ?



Maîtrise de la source en zone non saturée (sols) 2/4

> Dans les zones accessibles : excavation en vue de traitement

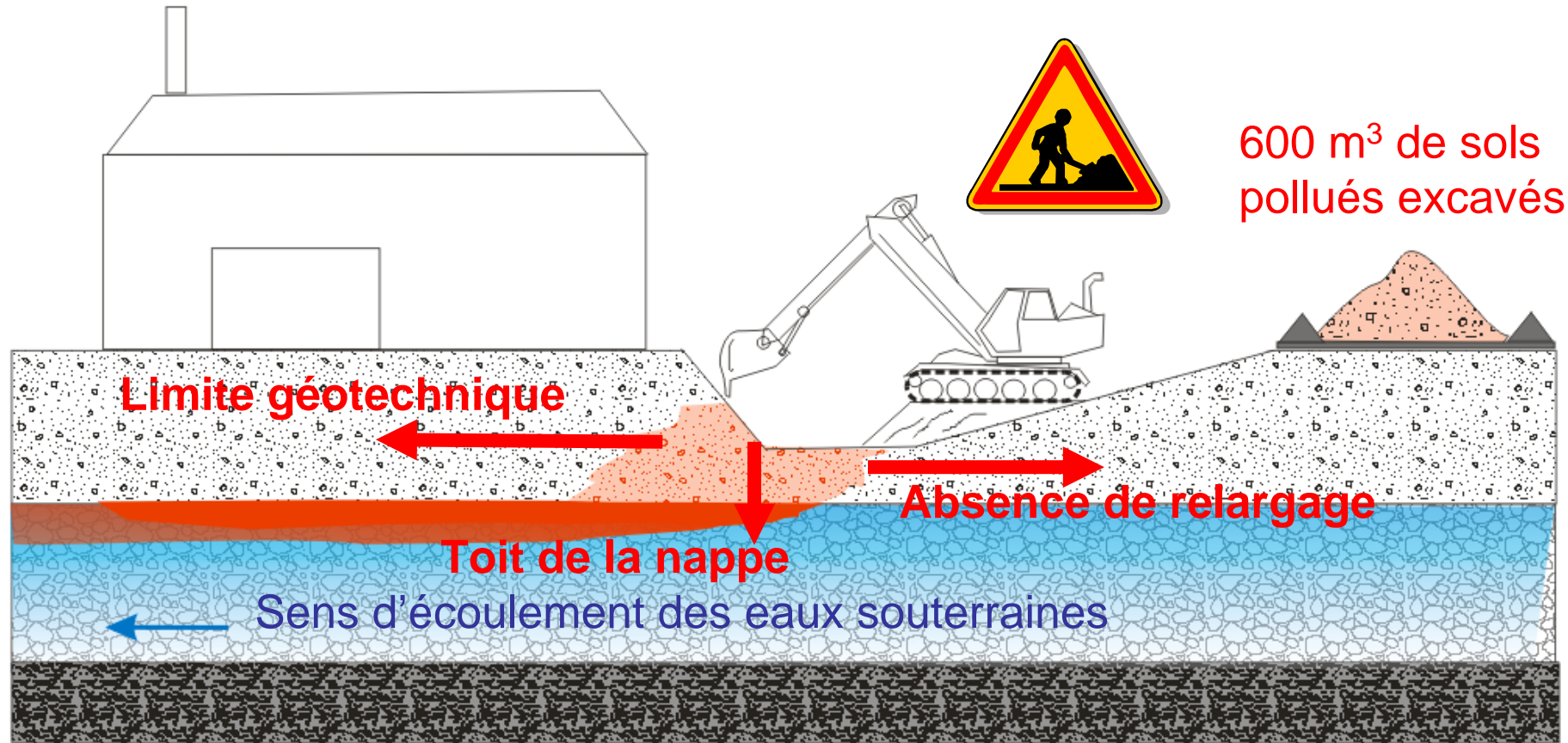
- Avantages :
 - Technique rapide permettant de limiter l'augmentation du panache de pollution
 - Technique permettant de laisser une faible pollution résiduelle
- Inconvénients :
 - Nécessité de traiter les terres excavées

> Gestion des terres excavées :

- Traitements biologiques technico-économiquement plus adaptés pour ce type de pollution que les traitements thermiques et physico-chimiques
- Traitement *ex situ* (biocentre) :
 - Technologie plus dispendieuse : 120 000 €
 - Technologie moins ecoefficace (transport)
- Traitement biologique sur site :
 - Permet de réutiliser les terres sur site
 - Moins onéreux pour ce type de pollution dans ce cas précis
 - Bioterre : 45 000 €
 - Andain et landfarming versus bioterre :
 - Avantages : technologies moins chères
 - Inconvénients : délais de décontamination plus longs, effluents plus difficiles à maîtriser et technologies moins performantes, impacts visuel et olfactif



Maîtrise de la source en zone non saturée (sols) 3/4



Rq : zone de battement de la nappe fortement imprégnée mais non accessible

Maîtrise de la source en zone non saturée (sols) 4/4

> Conception du biotertre :

- Mise en place de géomembrane sous le tertre afin de récupérer les lixiviats
- Mise en place de géomembrane sur le tertre afin de limiter les infiltrations d'eau pluviale et des émanations gazeuses
- Mise en place d'un traitement biologique des rejets atmosphériques
- Traitement de rejets aqueux connecté à celui des eaux souterraines

> Objectifs de dépollution du biotertre fixés comme suit :

- Absence de relargage dans les eaux souterraines (env. 2 000 mg/kg)
- EQRS : Compatibilité avec l'usage futur (usage industriel sur site après traitement en tant que remblai sous un parking et une aire végétalisée)
- Rejets atmosphériques :
 - 110 mg/Nm³ pour l'ensemble des COV
 - 2 mg/Nm³ pour les COV à phrases de risque R45, R46, R49, R60 et R61



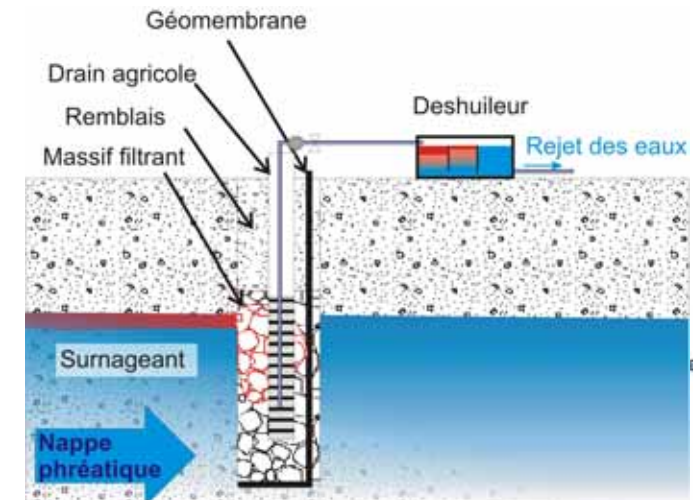
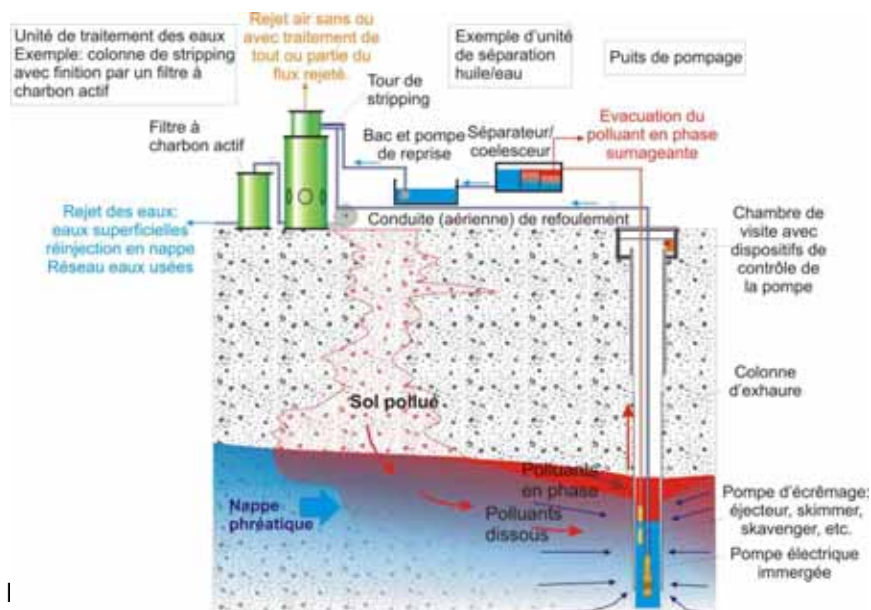
Maîtrise de la source en zone saturée (surnageant) 1/5

> L'extraction double phase a été éliminée :

- Trop de puits d'aspiration dans le bâtiment
- Problème inhérent aux variations du toit de la nappe

> Deux autres technologies de récupération sont envisageables :

- Pompage/écrémage
- Tranchée drainante



Service |

mercredi 11 juin 2008

> 19

Maîtrise de la source en zone saturée (surnageant) 2/5

Méthode de dépollution	Avantages	Inconvénients
Tranchée drainante	<ul style="list-style-type: none"> - Peu de rejets d'eaux souterraines - Coûts de fonctionnements faibles 	<ul style="list-style-type: none"> - Dépollution lente - Problème de stabilité de terrain (largeur d'excavation importante – éloignement par rapport à la source) - Différence de granulométrie entre les matériaux de la tranchée et des sols en place peu élevée (performance ?) => nécessité de mise en place d'une imperméabilisation après le massif filtrant ? - Ecoulement des eaux fortement perturbé - Captage AEP proche (haute sensibilité du site) - Coûts d'investissements importants
Pompage/écrémage	<ul style="list-style-type: none"> - Dépollution rapide - Coûts d'investissements faibles - Elimination de la source plus efficace 	<ul style="list-style-type: none"> - Débit des eaux souterraines rejetées élevé (étant donné la nature des terrains) - Maîtrise des écoulements des eaux souterraines délicate - Coûts de fonctionnements importants (énergie)



Maîtrise de la source en zone saturée (surnageant) 3/5

> Elimination des eaux pompées faiblement souillées générées lors de la récupération du surnageant ?

- Station d'épuration des eaux usées :
 - risque de blocage/arrêt du système de dégradation biologique du fait de la présence d'hydrocarbures en faibles quantités
 - augmentation du volume d'eau à traiter (1,5 fois la capacité actuelle en cas de pompage/écrémage classique)
 - isolement des boues issues de l'épuration pour contrôle des teneurs en hydrocarbures totaux avant épandage sur sols agricoles (retard des assolements, traitement alternatif des boues, etc...)
 - Convention de rejet : incidence sur les coûts
- Cours d'eau :
 - perturbation du régime hydrique non négligeable
 - vulnérabilité importante de la rivière du fait de sa grande qualité piscicole (rivière de première catégorie) et physico-chimique (catégorie 1B)
 - perturbation hydrique de la faune (en cas de rejet en période de ponte)
 - réactivité limitée en cas de problème dans le process de dépollution et rejet d'eaux polluées

Maîtrise de la source en zone saturée (surnageant) 4/5

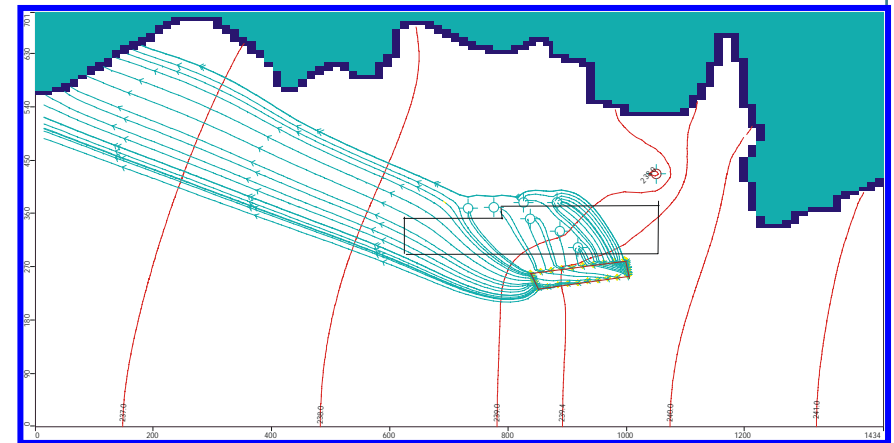
- Nappe alluviale via la gravière (reinjection) :
 - absence de problème en période d'étiage (réalimentation de la nappe)
 - contrôle direct sur site de la qualité des effluents rejetés (visuel et analyse régulière)
 - possibilité d'intervention rapide en cas de pollution accidentelle de la gravière (grâce à des boudins flottants)
 - circulation des eaux en circuit pseudo-fermé (en cas de pollution, les eaux de pompage rejetées dans la gravière seront récupérées aisément par le système de pompage)
 - réinjection des eaux de pompage dans la gravière : modification importante des écoulements hydrauliques locaux => validation par modélisation :
 - Débit de pompage nécessaire pour assurer le piège hydraulique ?
 - Relation nappe-rivière ?
 - Impact hydraulique et chimique sur la nappe et la rivière ? Détermination des débits et des concentrations maximales admissibles des rejets d'eaux pompées et traitées
 - Protection efficace du captage AEP en aval ?



Maîtrise de la source en zone saturée (surnageant) 5/5

> Limites de rejets (suite à « étude d'impact ») :

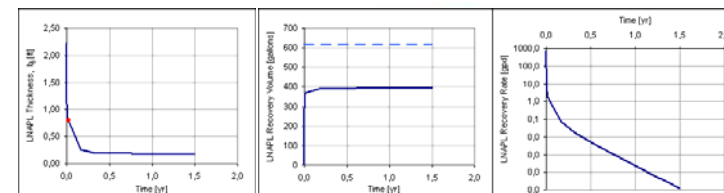
- $Q_{\text{hydraulique total}} = 1\ 250 \text{ à } 2\ 500 \text{ m}^3/\text{j}$
- $Q_{\text{massique max.}} = 0,9 \text{ kg/j}$
- $[\text{HCt}]_{\text{max.}} = 0,5 \text{ mg/l}$



> Dimensionnement des unités de traitement

Free-Product Recovery System Analysis

$t_{\text{recovery}} [\text{yr}] = 1,5$ $R_w [\text{ft}] = 9$ $\mu_w [\text{cp}] = 1,15$ $K_w [\text{ft/d}] = 840$ $r_{\text{well}} [\text{ft}] = 0,25$	Water Enhanced $Q_w [\text{gpm}] = 44$ $b_{\text{well}} [\text{ft}] = 9,84$ $R_{\text{skin}} [\text{ft}] = 383$ $s_{\text{well}} [\text{ft}] = 1,20$	Vacuum Enhanced $(i) p_w [\text{atm}] = 0$ $L_{\text{well}} [\text{ft}] = 1,8$ $\beta_{\text{sk}} = 2,36\text{E-}02$ $Q_w [\text{scfm}] = 0,0$ $h_{\text{max}} [\text{ft H}_2\text{O}] = 0,0$	Skimmer Well If $Q_w = 0$ and $p_w = 0$ then a skimmer well is assumed Average drawdown (buildup) within radius of capture $s_w [\text{ft}] = 0,69$
---	---	---	---



re durable

Schéma de principe

Excavation des sols et traitement par bioterre

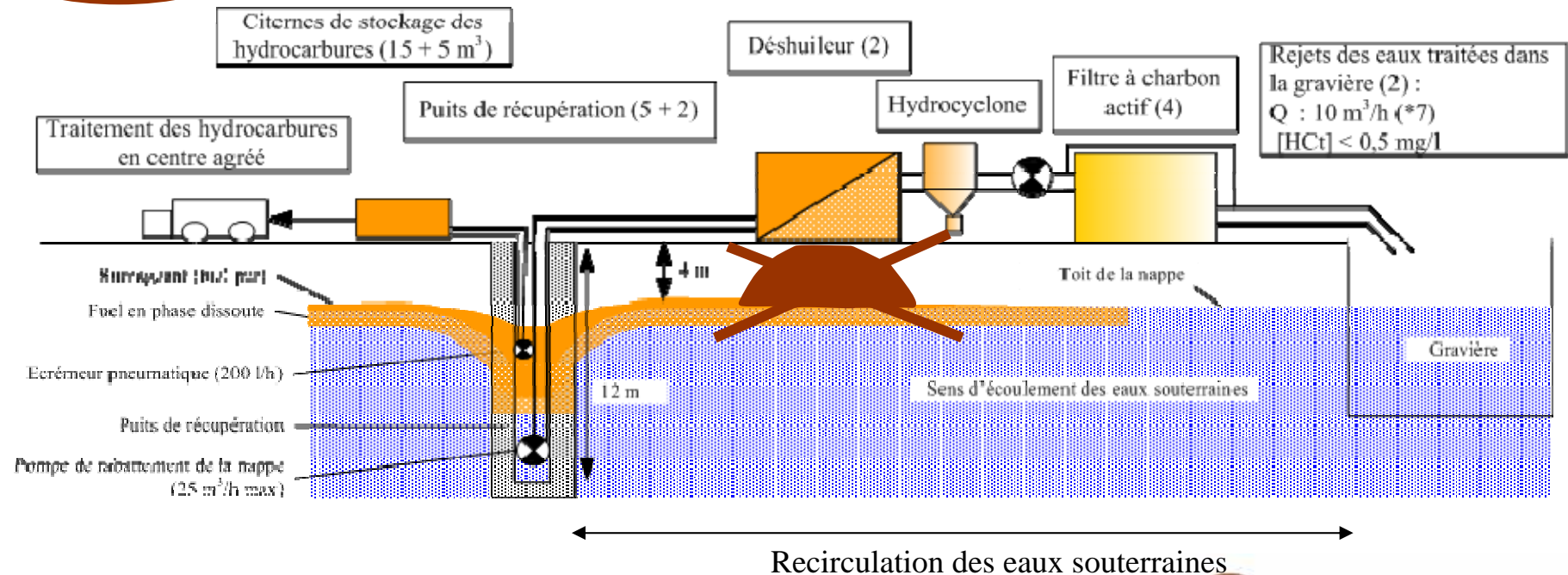


Schéma de principe

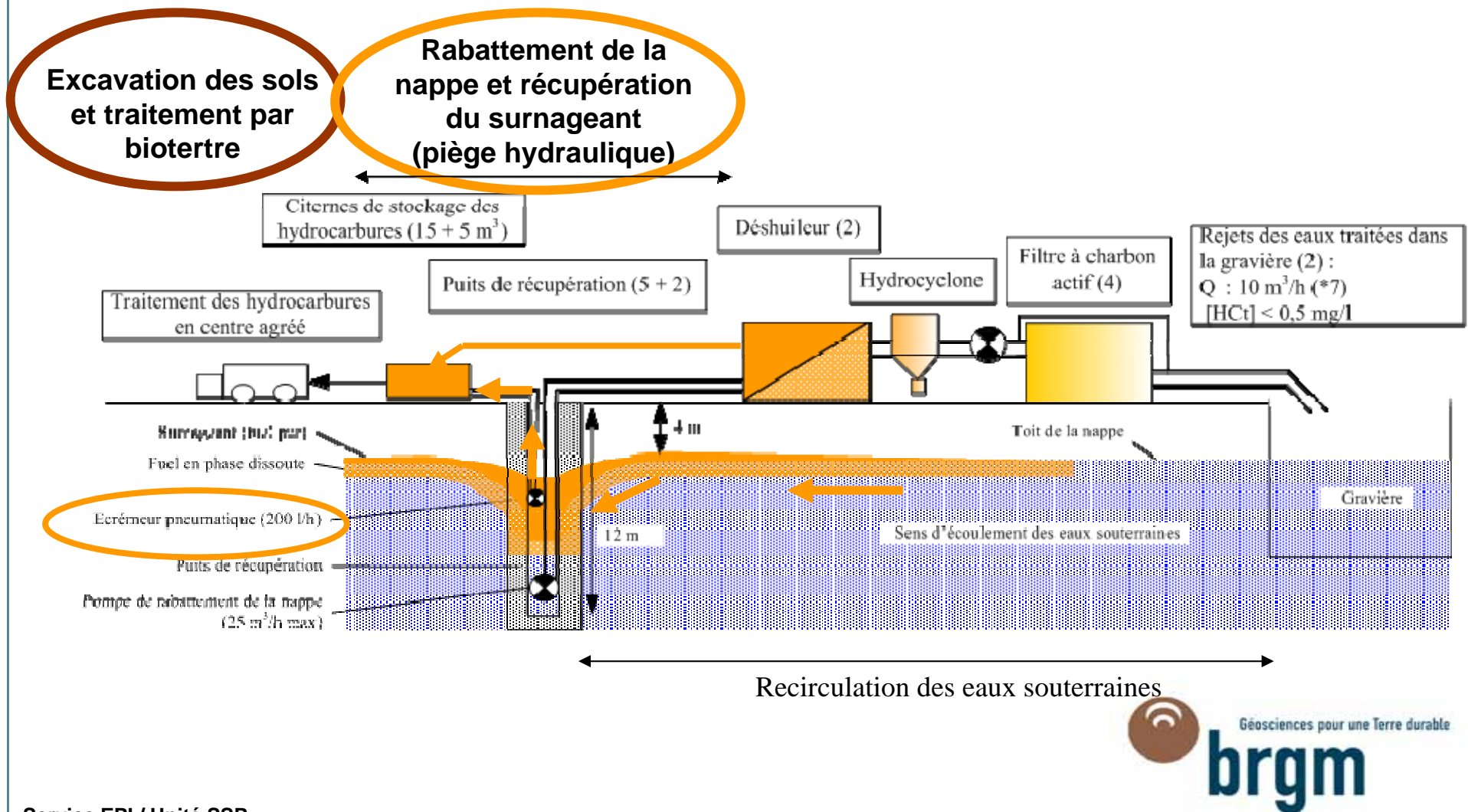
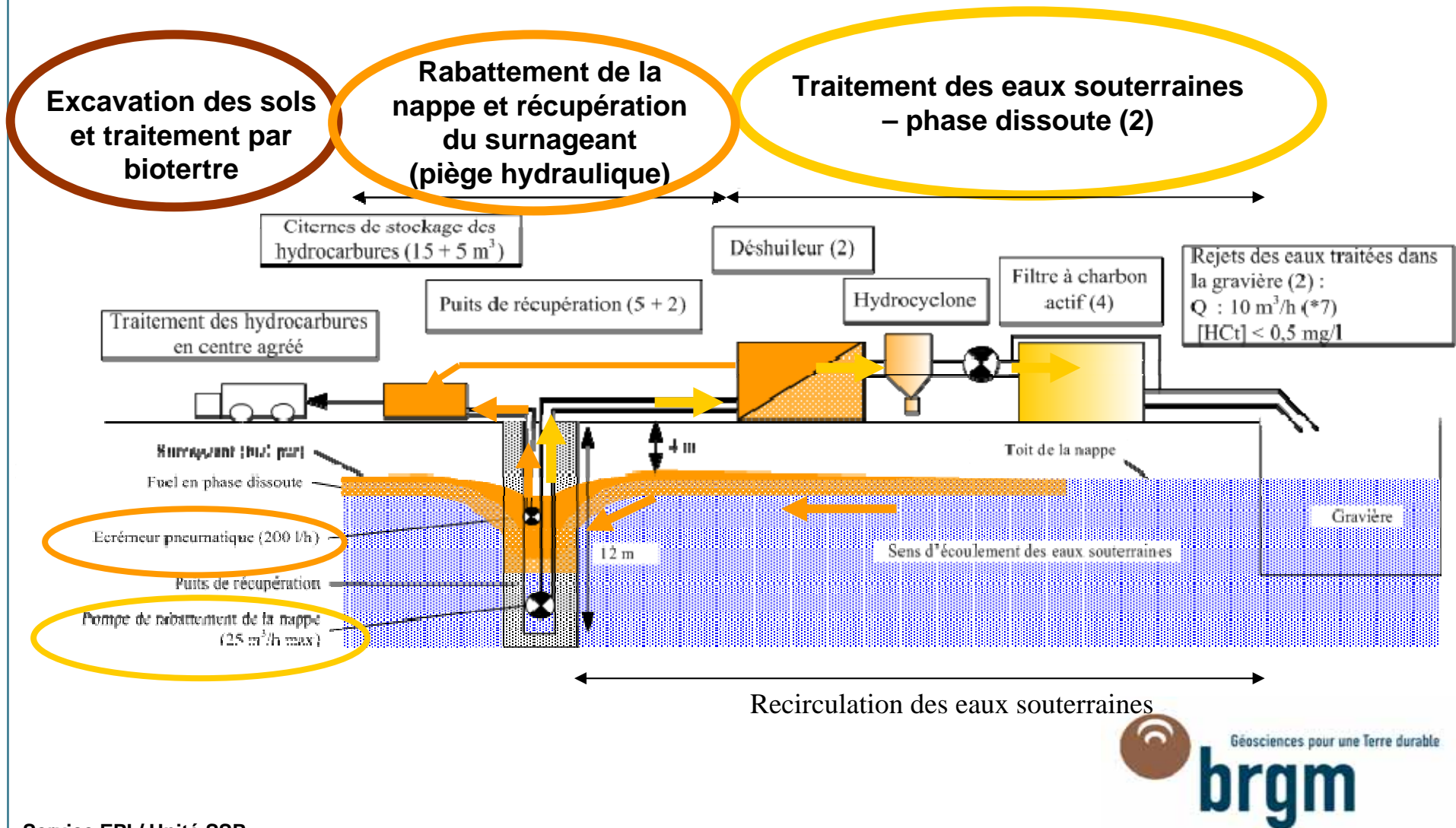
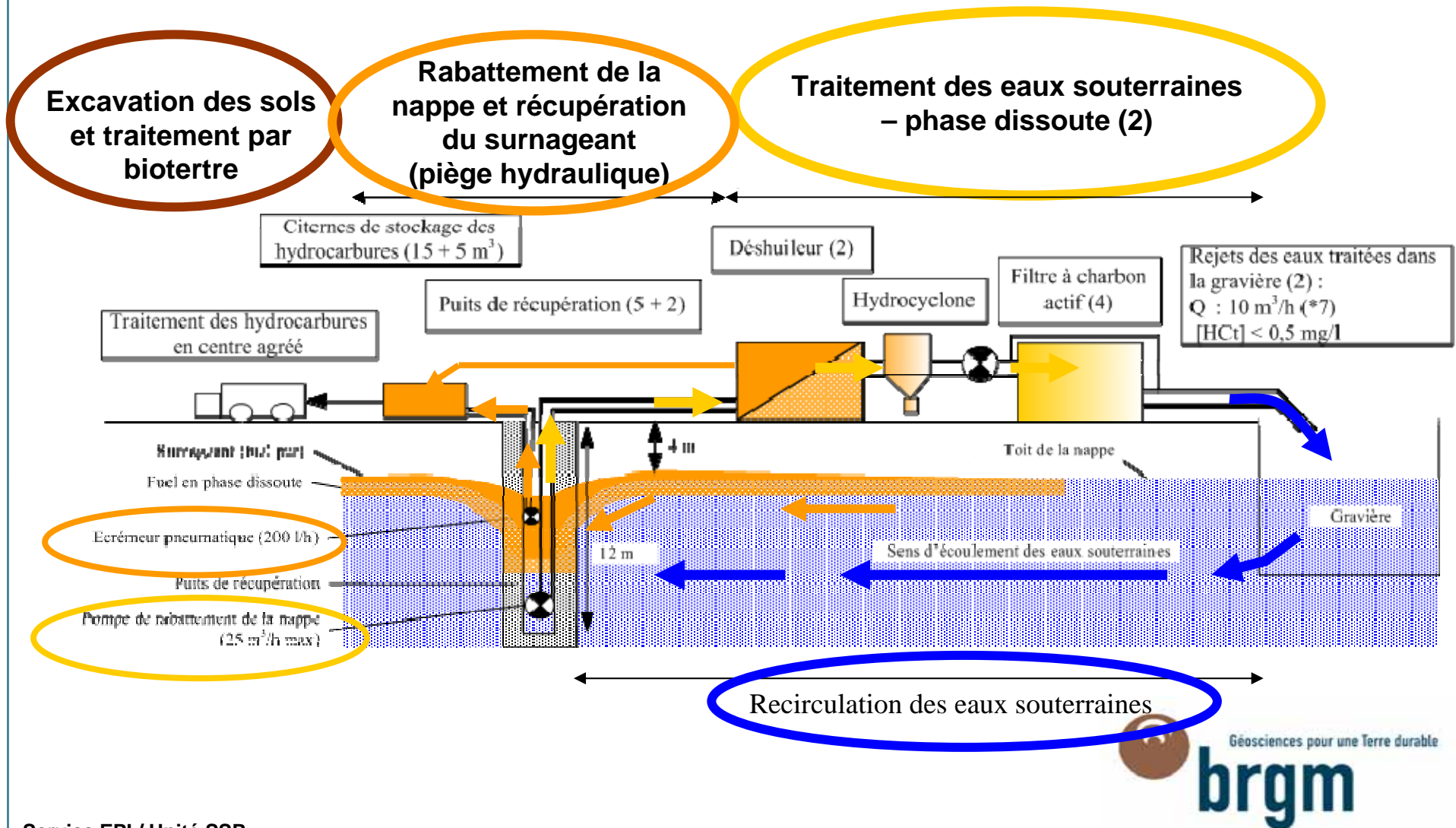


Schéma de principe

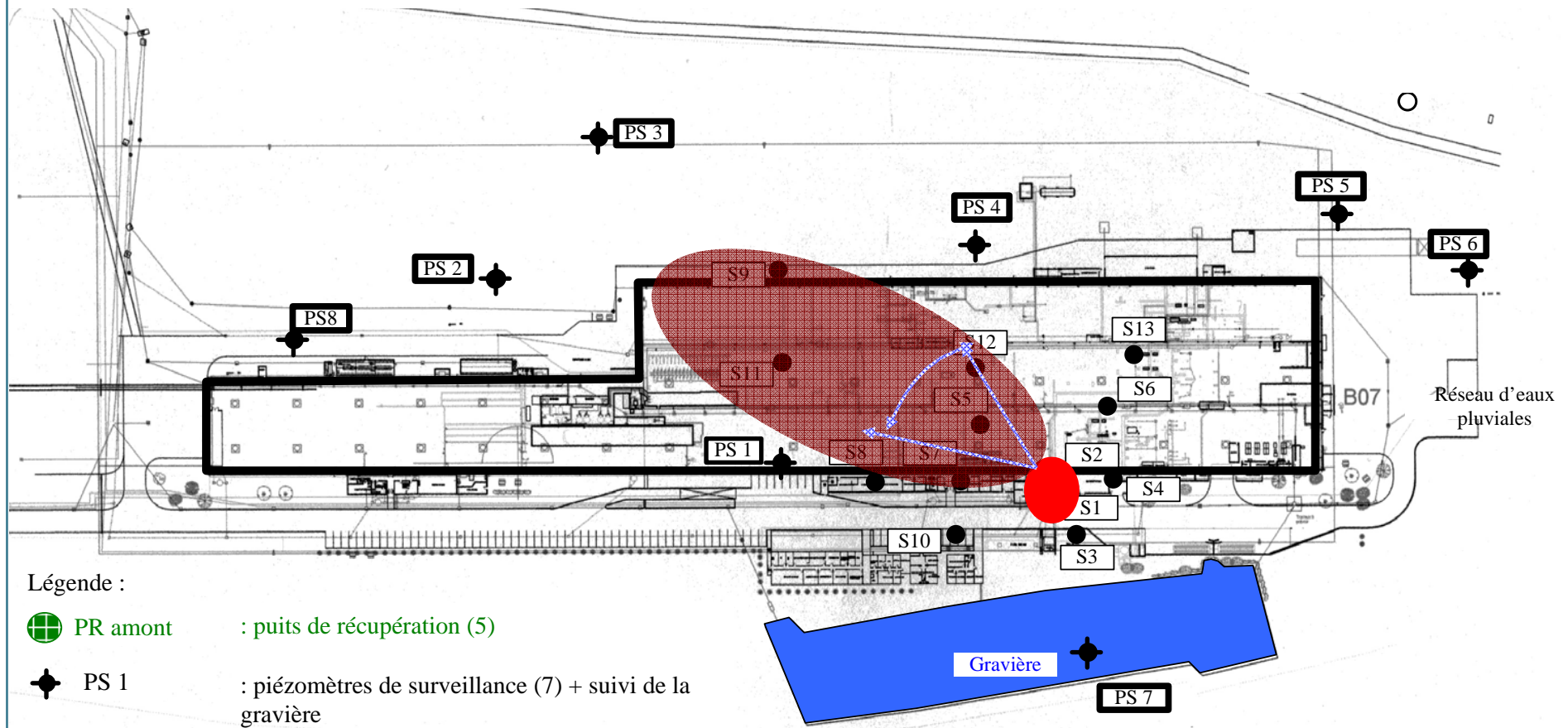


Service EPI / Unité SSP





Schéma de principe



Implantation des unités de traitement



Légende :

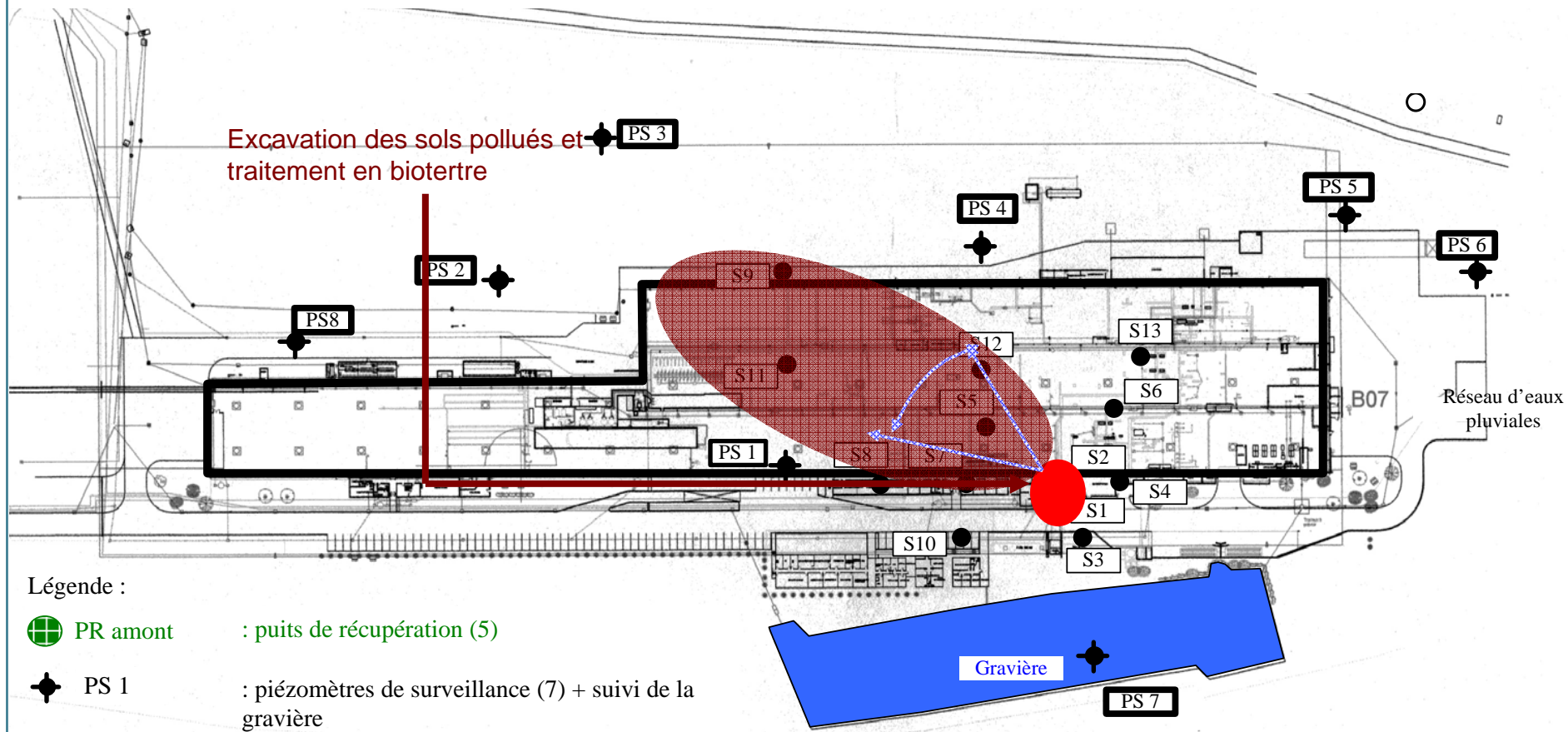
-  PR amont : puits de récupération (5)
-  PS 1 : piézomètres de surveillance (7) + suivi de la gravière
-  PS 1 : petits piézomètres : suivi du surnageant
-  PR aval 5 : puits de récupération additionnels (2)

Echelle :  0 pour une 40 m ite







Service EPI / Unité SSP

Implantation des unités de traitement



Légende :

-  PR amont : puits de récupération (5)
-  PS 1 : piézomètres de surveillance (7) + suivi de la gravière
-  PS 1 : petits piézomètres : suivi du surnageant
-  PR aval 5 : puits de récupération additionnels (2)

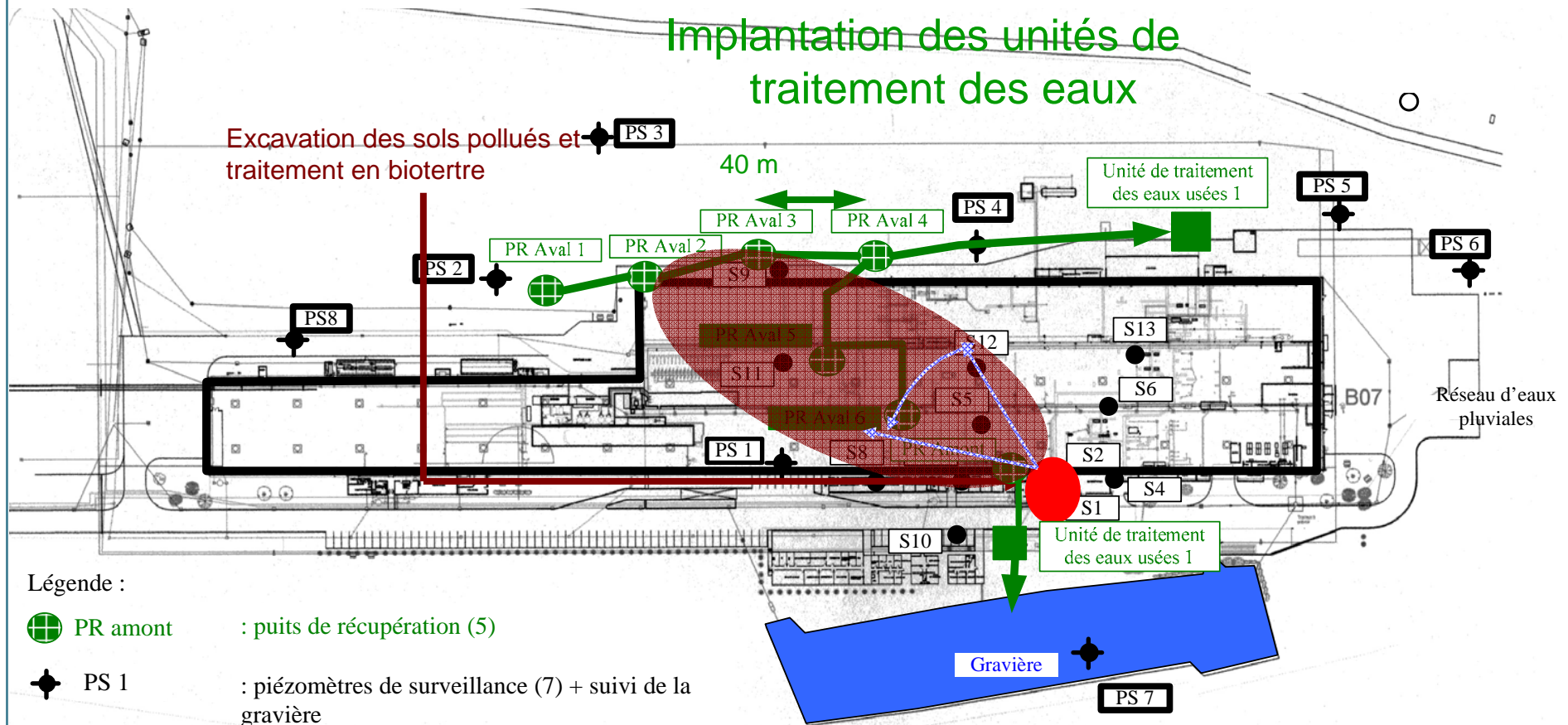
Echelle :  0 pour une 40 m ite







Service EPI / Unité SSP


Implantation des unités de traitement


Implantation des unités de traitement des eaux



Légende :

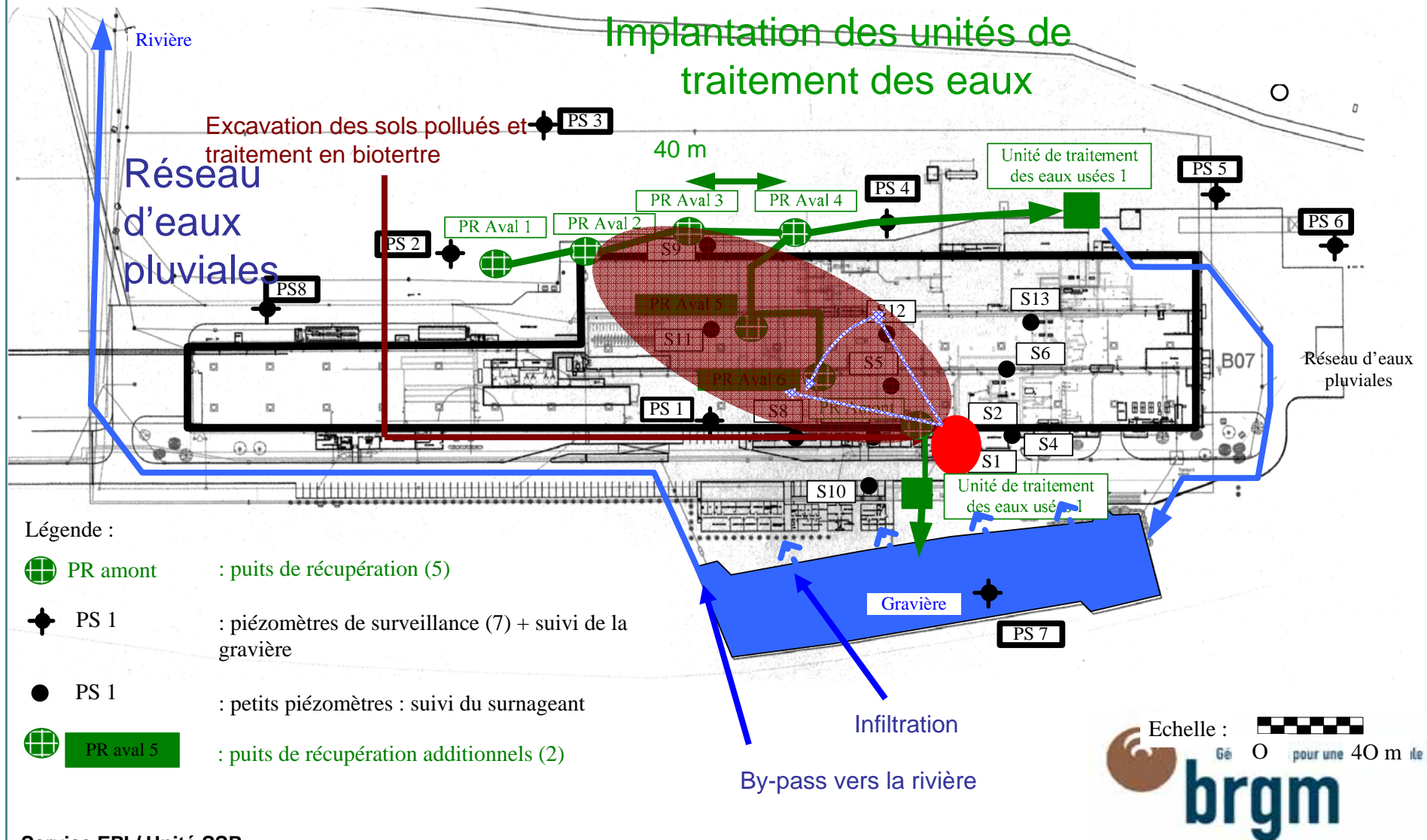
-  PR amont : puits de récupération (5)
-  PS 1 : piézomètres de surveillance (7) + suivi de la gravière
-  PS 1 : petits piézomètres : suivi du surnageant
-  PR aval 5 : puits de récupération additionnels (2)

Echelle :  pour une 40 m



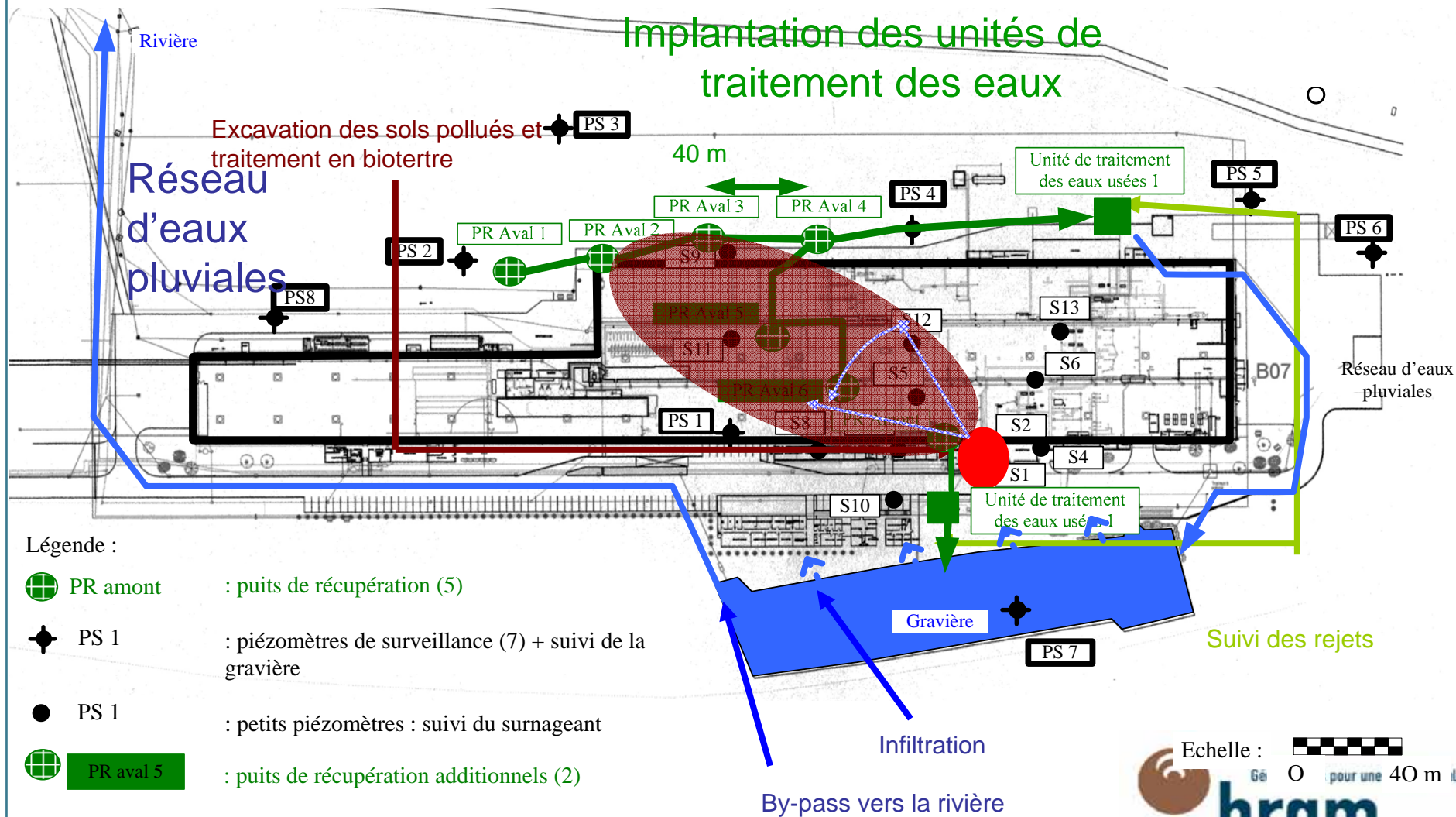
Service EPI / Unité SSP

Implantation des unités de traitement



Service EPI / Unité SSP

Implantation des unités de traitement



Légende :

- PR amont : puits de récupération (5)
- PS 1 : piézomètres de surveillance (7) + suivi de la gravière
- PS 1 : petits piézomètres : suivi du surnageant
- PR aval 5 : puits de récupération additionnels (2)

Service EPI / Unité SSP

Mardi 10 juin 2008

Maîtrise de l'impact en zone saturée (phase dissoute) 1/2

- > L'option de traitement de la source de pollution a également permis de maîtriser en partie les impacts

- > Une fois l'intégralité du surnageant pompée, les pompes de rabattement ont été actionnées par intermittence :
 - Lessivage au maximum des sols (effets de rebonds)

Maîtrise de l'impact en zone saturée (phase dissoute) 2/2

> Surveillance de l'efficacité du dispositif (« monitoring » et surveillance des milieux) :

- Volume de surnageant éliminé (réalisation de bilan/rendement de récupération)
- Contrôle des eaux souterraines sur site (maîtrise des impacts)
 - Qualité des eaux souterraines
 - Niveau du toit de la nappe (afin de régler les débits et les cônes de dépression)
 - Rq : une partie des puits a été équipée d'un système d'asservissement des débits au niveau de la nappe
- Contrôle des rejets avant réinjection dans la nappe
- Contrôle de la qualité de la rivière

> Pendant la phase de pompage, le suivi piézométrique permet de s'assurer de l'absence d'impact sur les eaux souterraines et la rivière

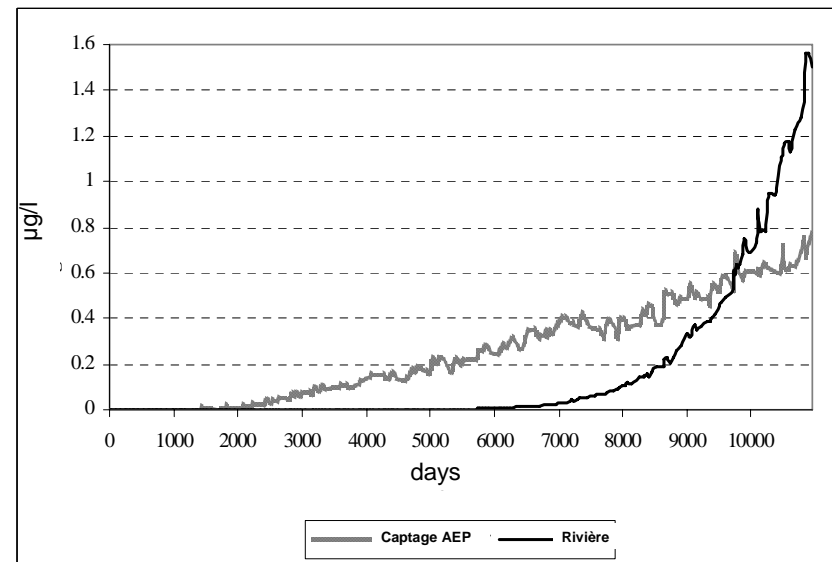
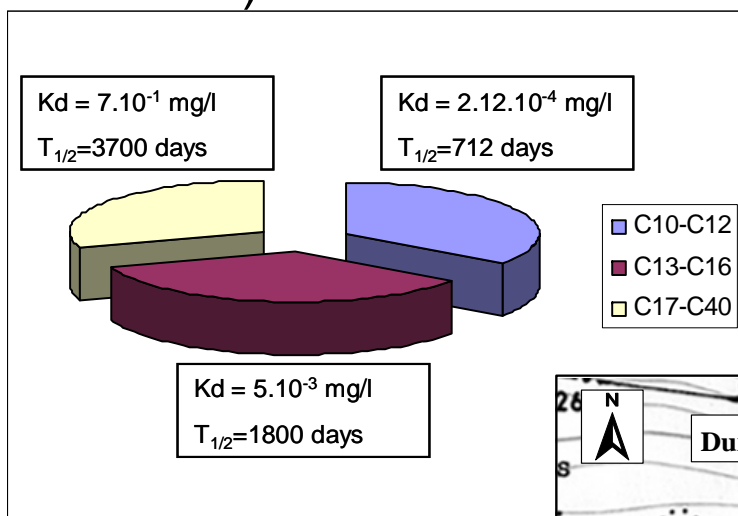
**Doit-on traiter la phase dissoute (impact) ?
Jusqu'à quelle concentration ?**



Mesures de gestion : bilan coûts-avantages

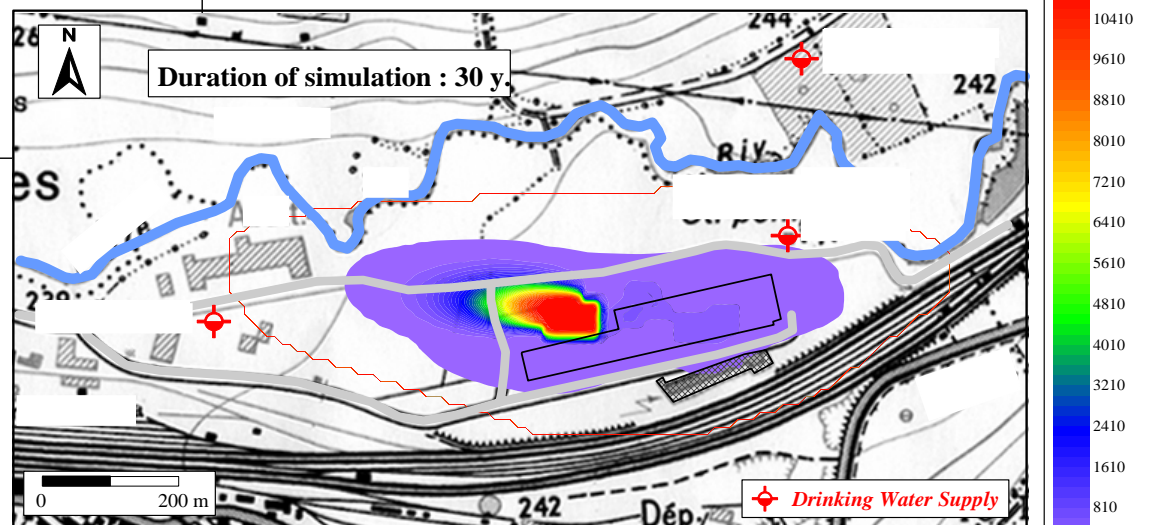
1/4

Estimation des concentrations résiduelles dans les eaux souterraines (phase dissoute)



Modélisation+ mesures

[HC t] rés. = 4000 $\mu\text{g/l}$
soit 4 mg/l



HCt C10-C12 (c. aliphatiques)

Service EPI / Unité SSP

- > Traitements envisageables pour la phase dissoute :
 - Oxydation chimique in situ
 - Lavage in situ
 - Barrière perméable réactive
 - Traitement partiel de la phase dissoute + atténuation naturelle
 - Bioventing et biosparging

- > Comparaison entre les différentes techniques :
 - Techniques et organisationnels
 - Economiques
 - Environnementaux
 - Socio-politiques

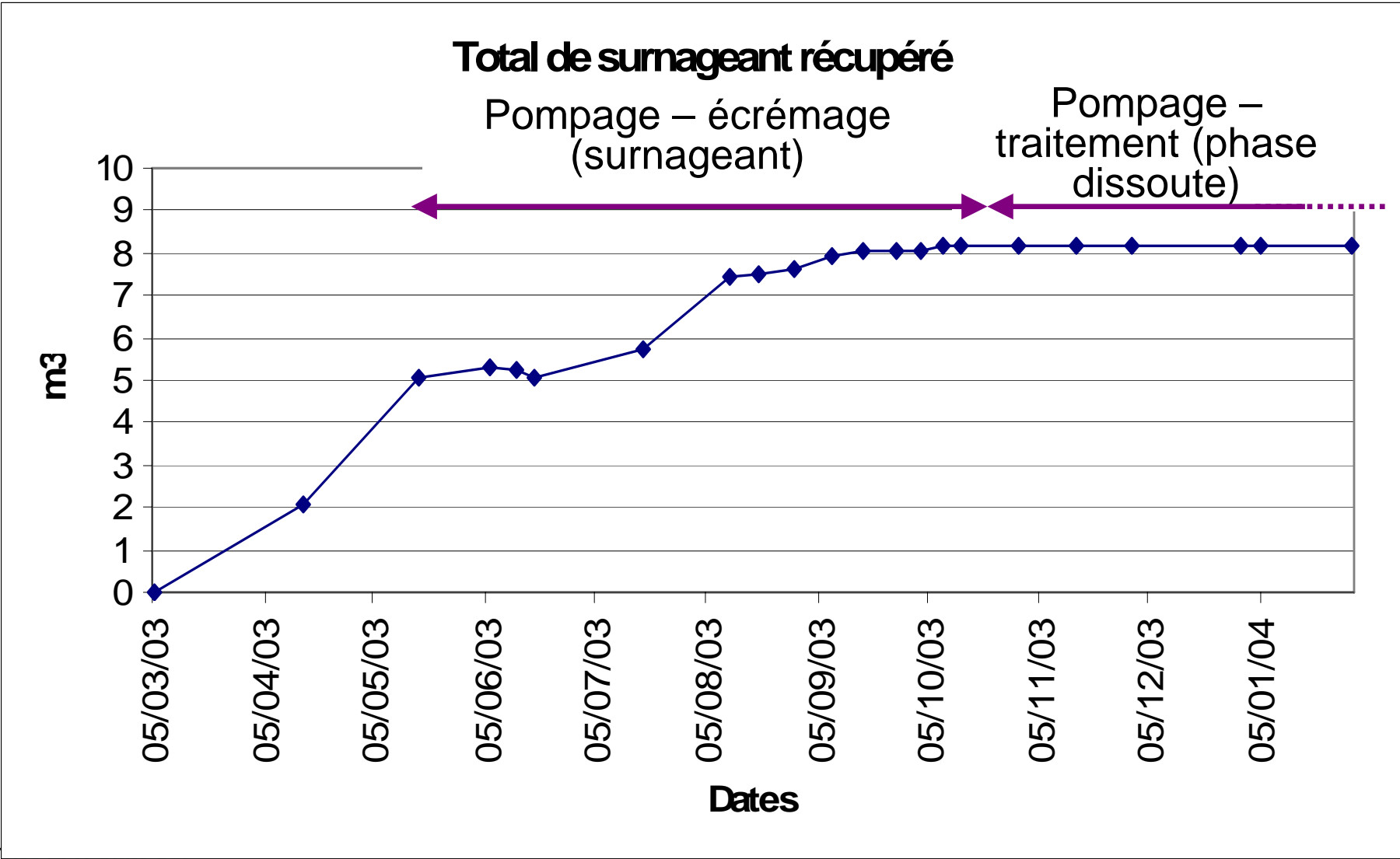
Mesures de gestion : bilan coûts-avantages

3/4

Critères	Techniques de traitement envisageables (sols et eaux souterraines)			
	Lavage in situ	Barrière perméable réactive (hors 1)	Traitement partiel de la phase dissoute + atténuation naturelle	Bioventing et biosparging 1
Techniques et organisationnels	3	4	8	6
Economiques	3	4	8	5
Environnementaux	4	7	8	8
Socio-politiques	8	6	5	8
Bilan	18	21	29	27



Mesures de gestion : bilan coûts-avantages



Ser



Excavation et transport interne des sols souillés

Implantation des puits de récupération





Mise en place des pompes
de rabattement de la nappe

Mise en place des écrémeurs
pneumatiques



 brgm



Puits de récupération

Puits de récupération équipé





Unités de traitement des eaux (1 et 2 : amont et aval)



La suite

- > **Poursuite de la surveillance des milieux et points d'exposition en adaptant le programme aux enjeux et à l'évolution de la situation (« bilan quadriennal »)**
 - Alerte en cas d'éventuelle augmentation anormale de pollution dans les eaux souterraines
 - Prise en compte des réseaux piézométriques, des eaux superficielles et des captages

- > **Restrictions d'usage (conservation de la mémoire) :**
 - Usage industriel au droit du site
 - Mise en place de restriction d'usage de captage des eaux souterraines au droit du site
 - Suivi du réseau de surveillance



Bilan de matières

Phases/Unités de traitement	Quantités (kg)	Pourcentage de répartition des hydrocarbures (%)
Phase gazeuse	0,631	0,00
Phase liquide	0,000254	0,00
Phase solide (ZNS)	11 865	30,50
Phase solide (ZS)	19 776	50,84
Filtres à charbon actif	312	0,80
Citernes	6 944 (env. 8,17 m ³)	17,85
Total	38 898	100



Bilan financier

> Totalité des coûts de dépollution : 380 000 €TTC

- Bioterre : 45 000 €
- Pompage/écrémage + pompage/traitement : 260 000 €
- Etudes et analyses : 75 000 €

> Actuellement : coûts de suivi 5 000 €/an

Rq : 45-50 €/l de fuel récupéré !!!!

