

Assainissement du site de l'ancienne usine à gaz de Delémont

André Bapst^{1,2}, Olivier Nyffenegger¹, François Flury¹

Mots-clés: Usine à gaz, assainissement, brownfields, PAH, HAP, Jura

Résumé

Au centre de la ville de Delémont (JU), en rive droite de la Sorne, une usine à gaz a été en fonction entre 1875 et 1903. Dans le contexte d'un projet immobilier, des investigations par sondages en tranchées ont révélé en 2010 une importante contamination aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP ou PAH) et, plus localement, au benzène. Sur la base d'investigations de détail en 2011, principalement des sondages carottés avec analyses des terrains recoupés et des eaux souterraines, un projet d'assainissement a été mis au point, puis exécuté en 2012: après un confinement hydraulique du périmètre, il a été procédé à l'excavation des terrains contaminés jusqu'au toit de la molasse marneuse aquiclude situé entre 2.3 m et 4.4 m de profondeur. Les contrôles post-assainissement montrent des résultats probants quant à la réalisation des buts d'assainissement.

Zusammenfassung

Im Zentrum der Stadt Delémont, auf dem rechten Ufer der Sorne, war von 1875 bis 1903 ein Gaswerk in Betrieb. Im Jahre 2010 wurden Untersuchungen mit Bagger-schlitz im Rahmen eines Immobilien-Projekts durchgeführten. Sie zeigten eine markante Verschmutzung des Grundwassers mit polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK / PAH) und örtlich mit Benzol. Hauptsächlich auf Sondierbohrungen, Boden- und Grundwasseranalysen aufbauend wurde die Detailuntersuchung im Jahre 2011 durchgeführt. Anschliessend wurde das Sanierungsprojekt erstellt und im Jahre 2012 realisiert. Sobald der belastete Perimeter hydraulisch gesichert war, konnten die Aushubarbeiten beginnen. Die verschmutzten Materialien wurden bis an die Oberfläche der undurchlässigen mergeligen Molasse, zwischen 2.3 und 4.4 m, evakuiert. Nach der Sanierung zeigen die vorhandenen Prüfungen signifikante Ergebnisse bezüglich des Erreichens der Sanierungsziele.

Abstract

A former gasworks plant was operated between 1875 and 1903 on the right bank of the river Sorne in the center of the city of Delémont (Jura, Switzerland). In the context of a real estate project, trenches investigations conducted in 2010 revealed the presence of elevated PAHs (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) and more locally elevated benzene concentrations. Detailed investigation that included the collection of cores and groundwater samples was conducted in 2011. Hydraulic containment was implemented and a site remedy was designed and constructed in 2012. The remedy included the excavation of contaminated soil materials to the top of the aquitard (molassic marl) encountered at a depth of 2.3 to 4.4 m below ground surface. Performance monitoring indicates that the remedial goals for the site have been met.

1 Introduction

Le site de l'ancienne usine à gaz de Delémont (JU) a été brièvement décrit dans le contexte de récentes publications sur des assainissements réussis (Jordi 2015; Badertscher et al. 2015). Le cas de cette ancienne friche urbaine, dont l'assainissement en 2012 s'est révélé riche d'enseignements, est présenté en détail ci-dessous.

Au centre de l'agglomération, en rive droite de la rivière Sorne, cette première usine à gaz a été en fonction entre 1875 et 1903. Elle n'a laissé que peu de traces: à part un plan cadastral assez peu précis, aucun document ou photographie n'est disponible, seules quelques données relatives à la création de la société en 1875, puis à sa dissolution en 1903, ont été retrouvées.

¹ MFR Géologie-Géotechnique SA, CP 745, rue de Chaux 9, 2800 Delémont 1

² MFR Géologie-Géotechnique SA, CP 3249, rue F. Oppliger 7, 2500 Biel/Bienne 3

En 1976, lors de la réfection d'un mur de la berge Sud de la Sorne, des «jus noirs» sont observés et, selon l'ancien chef des pompiers, un barrage hydrocarbures doit être installé sur la rivière pendant plusieurs semaines.

Plus tard, en 2010, à l'occasion d'un projet immobilier, et conformément à la procédure définie dans l'ordonnance fédérale sur l'assainissement des sites pollués (OSites 1998), une investigation historique, puis quelques sondages en tranchées et analyses, sont effectués.

Avant les sondages de 2010, la géologie locale était assez bien caractérisée, sur la base de reconnaissances effectuées à proximité du site:

- de 0 à 0.3 m: terre végétale
- de 0.3 à 1.2 m: remblai formé de limon sableux et divers déchets de démolition,
- de 1.2 à 3.5 m en moyenne: alluvions aquifères de la Sorne sous forme de gravier calcaire roulé avec du sable et, localement, des lentilles limonosableuses (GM-GP selon USCS),
- dès environ 3.5 m: molasse aquiclude, faciès «Terre jaune» sous forme de limon argileux induré, de couleur beige.

Une nappe libre baigne la base des alluvions, l'épaisseur saturée étant généralement faible (moins de quelques décimètres). Les battements de la nappe suivent avec une certaine inertie les niveaux de la Sorne voisine. Le site est classé en secteur Au du point de vue de la protection des eaux souterraines.

Plus globalement, le site s'inscrit dans le Jura plissé, au cœur du bassin molassique de Delémont, qui correspond au vaste synclinal à fond plat et d'axe E-W du même nom (Liniger 1925).

2 Investigations préalables de 2010

Sept sondages en tranchées (MD01 à MD07, situation sur la figure 1) ont été réalisés en 2010. Ils démontrent que les eaux souterraines sont polluées par des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP ou PAH). Trois piézomètres montrent des contaminations de la nappe aux HAP, avec une valeur locale de 227 µg/l de HAP totaux, dont 23 µg/l de benzo(a)pyrène.

Sur la base de ces analyses, le site a été classé comme «nécessitant un assainissement» par l'Office de l'Environnement sur la base de l'art. 9, al. 2, let. b OSites qui fixe une valeur d'assainissement de 0.025 µg/l de benzo(a)pyrène en secteur Au de protection des eaux souterraines.

Un échantillon de gravier calcaire, avec du sable et du limon, prélevé dans une tranchée à la base des alluvions au toit de la molasse aquiclude, montre une contamination de 25.7 mg/kg de HAP totaux et de 2'200 mg/kg d'hydrocarbures totaux.

3 Investigations de détail de 2011

3.1 Remblai et gravier alluvial

En mars 2011, après la démolition des quelques immeubles subsistant encore sur la parcelle, une campagne systématique de sondages carottés et d'analyses a pu être menée (sondages CAR01 à CAR14, situation sur la Fig. 1).

La présence d'hydrocarbures totaux et de HAP est confirmée en concentrations élevées, voire localement très élevées (jusqu'à 35'000 mg/kg de HAP dans les remblais en CAR09). Ces deux substances montrent de fortes concentrations selon pratiquement les mêmes aires de répartition, à savoir:

- Des teneurs très élevées dans la zone centrale du site, au droit des sondages CAR09,

CAR08, CAR10, CAR13, CAR14, CAR05 et CAR07, qui présentent chacun des valeurs dépassant les limites d'acceptation des matériaux en décharge contrôlée pour matériaux bioactifs (selon l'ordonnance fédérale sur le traitement des déchets, OTD 1990). De telles caractéristiques sont valables quel que soit le type de matériaux analysés, c'est-à-dire des graviers et limons alluviaux ou des remblais de surface. **Cette zone centrale représente le foyer de la pollution.**

- Des teneurs basses en périphérie, où seuls quelques rares échantillons sont caractérisés par des valeurs correspondant à des matériaux tolérés, selon la directive fédérale sur les matériaux d'excavation (DME 1999), tandis que plus loin la plupart des matériaux ne sont pas pollués.

Par ailleurs, des pollutions aux cyanures, avec des teneurs comprises entre 0.2 et 10 mg/kg (supérieures à la valeur T de 0.1 mg/kg selon la DME) ont été relevées sur un périmètre identique à celui des fortes pollutions aux divers hydrocarbures. Des concentrations faibles en arsenic, comprises entre les limites U et T de la DME

(entre 15 et 40 mg/kg), apparaissent également avec des teneurs de 15 à 27 mg/kg dans certains points.

3.2 Eaux souterraines

Les analyses de la campagne d'échantillonnage de 2011 confirment et renforcent les données de 2010. Un foyer, «ou hot spot», apparaît pour le benzo(a)pyrène et pour le benzène sous le bâtiment qui abritait probablement l'ancienne usine à gaz, dans les piézomètres CAR09 et CAR10 (Fig. 1).

Sur la base de ces analyses, il a été admis que les eaux souterraines s'écoulant sous la source de pollution présentaient des concentrations moyennes de 460 µg/l d'HAP totaux, de 18 µg/l de benzo(a)pyrène (soit ~4% des HAP) et de 75 µg/l de naphthalène (Tab. 1).

A partir du hot spot de pollution mis en évidence, l'extension et la répartition des polluants peuvent être directement influencées par la géométrie du toit de la molasse à la base des graviers aquifères. C'est pourquoi il a été jugé utile de préciser cette géométrie lors de la campagne de sondages carottés de 2011 (Fig. 2): elle présente une légère dépres-

Substances	CAR08 (µg/l)	CAR09 (µg/l)	CAR10 (µg/l)	Moyennes admises (µg/l)	Demi-valeurs OSites (µg/l) [²]
Naphtalène	69	< 0.1 [¹]	80	75	500
Benzo(a)anthracène	3.4	9.6	9.6	7.5	0.25
Benzo(b)fluoranthène	0.74	27	1.5	10	0.25
Benzo(k)fluoranthène	1.9	3.7	5.4	4	2.5
Dibenzo(a,h)anthracène	0.29	0.94	1.6	1	0.025
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	2.3	3.9	9.3	5	0.25
Benzo(a)pyrène	8.3	21	26	18	0.025
Somme des HAP	130	500	750	460	
[¹] Valeur probablement biaisée par la présence d'une teneur très élevée en BTEX					
[²] Le site étant classé en secteur Au, ce sont les demi-valeurs OSites qui sont prises en considération (art. 9, al. 2, let. b OSites)					

Tab. 1: Concentrations de substances polluantes (divers HAP) mesurées dans les eaux souterraines sous le foyer de pollution.

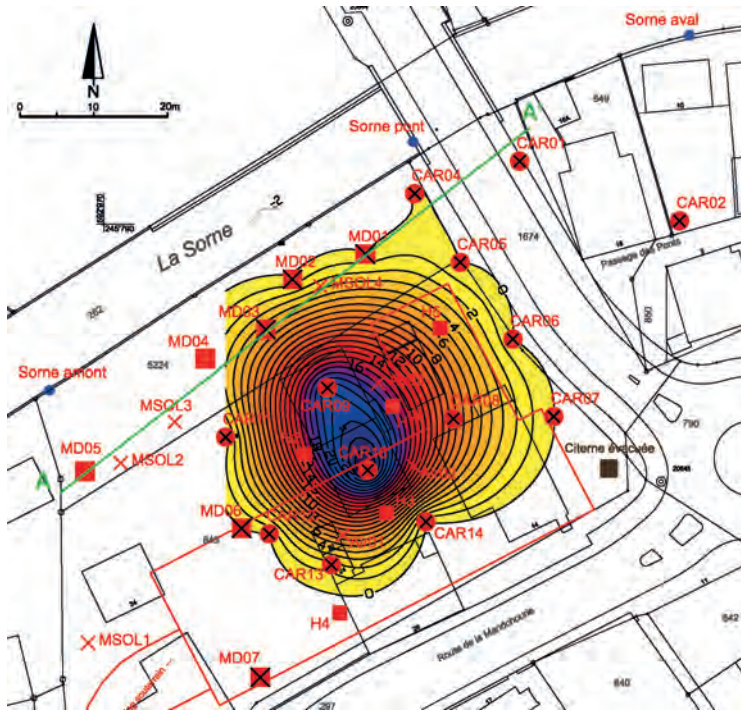


Fig. 1: Carte d'iso-teneurs en Benzo[a]pyrène dans la nappe [$\mu\text{g}/\text{l}$], avec le «hot spot» en CAR09 et CAR10 sous l'ancien bâtiment de l'usine à gaz (A-A') : trace du profil de la figure 4).

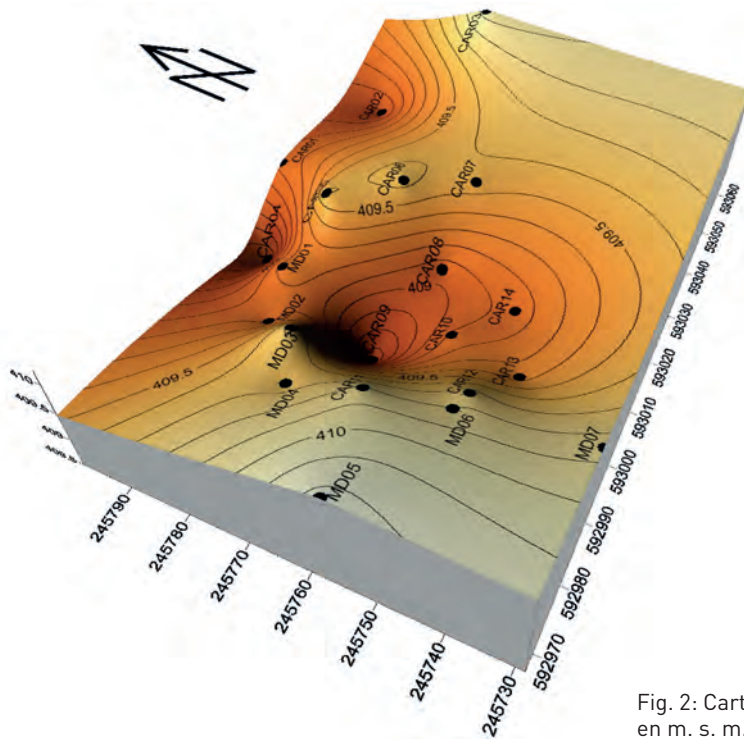


Fig. 2: Carte du toit de la molasse, altitudes en m. s. m.

sion au droit de l'ancien bâtiment de l'usine à gaz (sondages CAR09, CAR10 et CAR08) et une faible pente vers la Somme au Nord.

Dans ce même cadre, la piézométrie de la nappe a été mesurée pour différentes situations hydrologiques. La figure 3 illustre la piézométrie en basses eaux du 28 avril 2011; elle montre une nappe localement discontinue, qui occupe les points bas du toit de la molasse aquiclude. Les gradients sont peu marqués vers le Nord, avec un niveau de la Somme légèrement inférieur à celui des piézomètres MD01 à MD03 situés à proximité (Fig. 4).

La carte piézométrique illustrée sur la figure 3, en étiage prononcé, démontre que les polluants présents sur le site peuvent:

- pour les légers, être entraînés par des écoulements souterrains depuis le secteur des sondages CAR09 et CAR10 directement vers la Somme au Nord;
- et, pour les molécules lourdes les moins

mobiles (HAP), vraisemblablement en phase selon les analyses disponibles:

- soit stagner localement à la base de la nappe qui subsiste dans les dépressions du toit des marnes de la Molasse. Ce modèle «basses eaux» permettrait ainsi d'expliquer la présence locale des hydrocarbures lourds et anciens pendant plus d'un siècle au toit des marnes de la Molasse,
- soit, compte tenu de la pente générale de la molasse vers la Somme au Nord, «fluer» par gravité à la base de la nappe.

Lors de la forte crue du 7 décembre 2010, les gradients étaient en revanche élevés depuis la Somme vers l'Est, respectivement vers le Sud, indiquant ainsi, pour ces conditions de hautes eaux, une infiltration possible des eaux de la Somme dans la nappe en rive droite. Le profil en long SW-NE de la figure 4 illustre la cote du niveau piézométrique lors de cette crue, ainsi que les variations d'épaisseurs des remblais et l'altitude du toit de la molasse aquiclude.

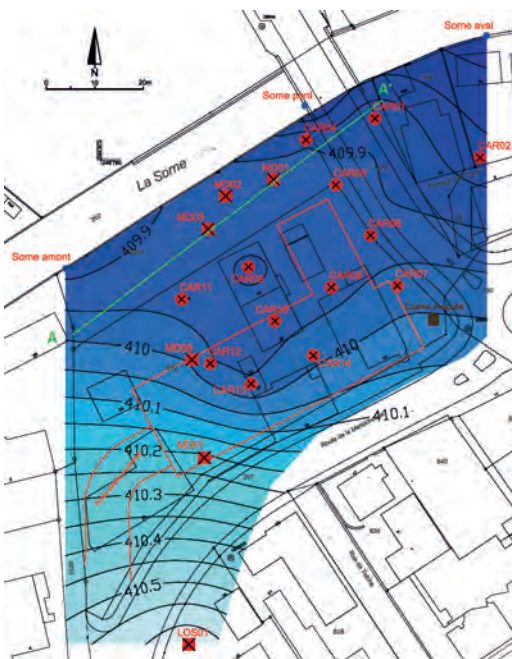


Fig. 3: Carte d'écoulement en basses eaux le 28 avril 2011 [on notera les très faibles gradients autour de l'ancien bâtiment de l'usine à gaz en CAR09 et CAR10].

3.3 Modèle avant assainissement

Plus d'un siècle après l'infiltration des polluants dans le terrain, une contamination caractérisée essentiellement par des fractions lourdes est encore présente, sans montrer de panache décelable. Ceci peut s'expliquer par les gradients hydrauliques généralement très faibles observés dans la zone probable de déversement des polluants.

Avant l'assainissement, les quantités de HAP présentes dans les remblais et alluvions au-dessus du toit de la molasse avaient été estimées à environ 50 tonnes. Cette valeur était toutefois considérée comme un maximum, à cause d'une valeur localement très élevée (35 g/kg) intégrée au calcul initial (effet pépite). Au terme des investigations, un total d'une dizaine de tonnes paraissait plus réaliste.

Par ailleurs, vu l'absence de panache caractérisé,

térisé (Fig. 1), la détermination de «l'aval à proximité du foyer» au sens de l'OSites, s'est révélée difficile. En fin de compte, il a été admis une zone comprenant les piézomètres CAR01, 04, 05 et 06 à l'Est et MD01, 02 et 03 au Nord comme appartenant à l'aval immédiat du site.

Les concentrations de benzo(a)pyrène et d'autres HAP dépassent largement la demi-valeur de concentration OSites à l'aval direct de l'ancien emplacement de l'usine à gaz (foyer de la pollution), avec en plus localement des teneurs proches de la demi-valeur de concentration OSites pour l'arsenic et les cyanures (Tab. 2).

On relèvera d'autre part que, quelle que soit la situation hydrologique, des polluants peuvent être entraînés dans la nappe, et ultérieurement dans la Sorne. A ce titre, des valeurs moyennes de 5 µg/l de benzo(a)pyrène, pour environ 50 µg/l d'HAP totaux, ont été considérées comme représentatives des

concentrations des eaux souterraines qui se déversent dans la Sorne.

4. Assainissement

4.1 But d'assainissement, méthode

Dans le projet d'assainissement accepté à fin 2011, il a été admis que le but d'assainissement était d'atteindre des teneurs maximales de 1x la valeur OSites du benzo(a)pyrène dans les eaux souterraines qui s'écoulent en aval de la source de pollution (soit 0.05 µg/l), et de 10x la valeur OSites de cette même substance dans les eaux qui se déversent dans la Sorne (soit 0.5 µg/l).

Une méthode par excavation à la pelle mécanique, évacuation et traitement hors site des matériaux pollués, **avec confinement hydraulique durant la réalisation des travaux**, a été retenue pour l'assainissement.

N° piézo	Date	Substances	Teneurs (µg/l)	Demi-valeurs OSites (µg/l)
MD02	26.10.10	B[a]P : Moyenne admise à 5 µg/l / ΣHAP : Moyenne admise à environ 50 µg/l	1.3 / 4.8	0.025
MD03	26.10.10		23 / 227	0.025
MD01	01.12.10		0.12 / 0.3	0.025
MD02	01.12.11		0.26 / 0.83	0.025
MD03	01.12.10		4.7 / 20.8	0.025
CAR04	06.04.11		0.06 / 0.32	0.025
MD03	26.10.10	Benzo(a)anthracène	8.9	0.25
MD03	26.10.10	Benzo(b)fluoranthène	7.9	0.25
MD03	26.10.10	Benzo(k)fluoranthène	6.8	2.5
MD03	26.10.10	Dibenzo(a,h)anthracène	1.3	0.025
MD03	26.10.10	Indéno(1,2,3-cd)pyrène	6.5	0.25
MD03	26.10.10	Naphtalène	0.36	500
CAR01	06.04.11	Cyanures	15	25
CAR01	06.04.11	BTEX	10.3	-
CAR06	06.04.11	Arsenic	22	25

Tab. 2: Teneurs des substances polluantes mesurées dans les eaux souterraines en aval de la source de pollution, vers la Sorne.

4.2 Réalisation des travaux et résultats

A. Plan Hygiène et Sécurité (PHS): Les travaux, exécutés entre janvier et avril 2012, ont été précédés par la mise au point d'un Plan Hygiène et Sécurité (PHS), ainsi que par une information publique aux riverains (Ebiox 2012).

Les analyses des gaz interstitiels effectuées lors des investigations techniques avaient permis d'admettre que les travaux d'assainissement pouvaient être exécutés à ciel ouvert, car d'une part les risques pour les ouvriers, la population et l'environnement étaient connus et maîtrisés et, d'autre part, la validation du PHS était subordonnée à un contrôle très minutieux du suivi des travaux (concept de sécurité, identification des risques spécifiques et mesures de protection des travailleurs) tel que, en particulier [5]:

- Information et instruction des travailleurs

- Détermination des valeurs d'exposition pour chacune des substances présentes sur le site, valeurs VME (valeurs moyennes d'exposition au poste de travail)
- Zonage: subdivision du périmètre de travail en 3 zones, blanches, noires et intermédiaires, fixant les différents types d'équipements et d'activités autorisés
- Détermination des équipements de protection individuelle (EPI) et collective
- Equipement de détection et seuil d'alarme (explosimètres, Tubes Dräger, etc.)
- Ordre et propreté, instruction sur la décontamination
- Mesures en cas de génération de poussières
- Obligation de procéder à un nettoyage des outils et des machines.

B. Confinement hydraulique: Une enceinte de confinement, fichée dans la molasse sur un périmètre total de 200 m, a été réalisée

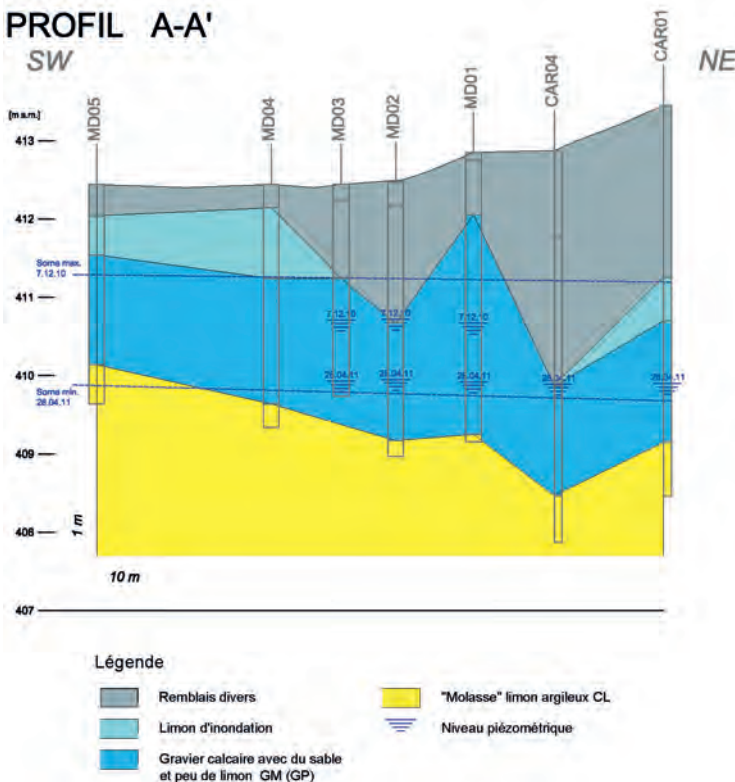


Fig. 4: Profil géologique en long SW-NE, parallèle à la berge Sud de la Somme (voir la localisation du profil sur la carte de la figure 1).

selon la technique Mixed In Place (MIP, Fig. 5): le terrain en place est mélangé au moyen d'une tarière avec du coulis de ciment pour obtenir une paroi étanche de 35-40 cm de largeur. Cette paroi étanche n'a toutefois pas de fonction statique, si bien que les travaux d'excavation doivent garantir qu'une butée soit laissée à l'intérieur du périmètre confiné.

Le confinement hydraulique de la surface à assainir a été optimal, si bien qu'il n'y a eu aucune intrusion d'eau souterraine à partir de la nappe extérieure à l'enceinte. Les volumes de lixiviats avaient été évalués à un maximum de 400 m³, sur la base d'une estimation d'une couche saturée comprise entre 0.5 et 2 m d'épaisseur avec 10% de porosité. Au final, c'est un volume de 305 m³ de lixiviats, caractérisés par une moyenne de 0.06 µg/l de B(a)P et 39 µg/l de benzène, qui a été pris en charge par une entreprise spécialisée.

C. Excavation des matériaux pollués: Le périmètre à assainir a fait l'objet d'un découpage en 18 casiers, en fonction des types de matériaux attendus d'une part, et de la concentration des polluants d'autre part. Les volumes traités ont été les suivants:

- Dans la zone-source (foyer), 8'445 tonnes ont été évacuées selon la filière DS (déchets spéciaux, OTD 2011), alors que 6'475 tonnes étaient initialement prévues. Compte tenu du fait que les valeurs limites exigées pour le benzo(a)pyrène sont extrêmement basses, les teneurs mesurées sur cette substance dépassaient régulièrement les limites pour des dépôts acceptés en décharge bioactive. En conséquence, les matériaux pollués n'ont pas été triés et ils ont tous été classés en déchets spéciaux, les surcoûts de taxes étant faibles et compensés par une absence de tri.
- Dans le secteur Sud-Ouest peu pollué, les quantités de matériaux de qualité DCMI (décharge contrôlée pour matériaux inertes, OTD 2011) étaient prévues à environ 3'850 tonnes, alors que ce sont finalement 5'013 tonnes qui ont été extraites.

La quantité de HAP extraits lors de l'assainissement est basée sur les tonnages et les concentrations mesurées par analyses. Elle est de 10 à 15 tonnes alors qu'un total de 10 tonnes avait été estimé sur la base des sondages et analyses préalables.



Fig. 5: Exécution de l'enceinte de confinement selon la technique «Mixed In Place».

Les analyses opérées en cours d'assainissement n'ont pas révélé de teneurs significatives en métaux lourds, ni en cyanure. Les concentrations en arsenic, plomb, cuivre, nickel et zinc ne dépassent généralement pas, respectivement 23, 180, 53, 58 et 230 mg/kg. Les cyanures totaux sont quant à eux inférieurs à 0.80 mg/kg.

4.3 Observations significatives

Fosse circulaire: Les documents et données historiques étant quasi-inexistants, des «surprises» ne pouvaient pas être exclues. Ainsi, le 23 février 2012, lors de l'excavation du centre du périmètre considéré comme zone-source, une fosse circulaire en béton de 7 à 8 m de diamètre et de 1.5 m de profondeur a été mise au jour (Fig. 6). Elle était remplie de matériaux de démolition et montrait à sa base un liquide noirâtre, visqueux, fortement pollué, lequel a été pompé et évacué via une entreprise spécialisée.

Produits en phase: des polluants en phase liquide lourde, noire, ont été recoupés en divers endroits à la base des alluvions, dans les creux du toit de la molasse marneuse. Ces

«flaques» spectaculaires ont fait l'objet de traitements spécifiques et décapage de plusieurs cm de molasse sous-jacente (Fig. 7).

Infiltrations dans la molasse: le toit de la molasse a été systématiquement examiné par de petits sondages et globalement, il a montré une surface imperméable bien compacte, si bien qu'il n'y a pas d'imprégnation au-delà de quelques centimètres sous la surface. Toutefois, vers le sondage CAR09, une forte densité locale de microfractures a été observée dans la molasse, ce qui a permis l'infiltration de phases liquides lourdes et des traces de HAP ont été trouvées dans la molasse jusqu'à 80 cm de profondeur (Fig. 8).

Contrôle de l'assainissement: au terme de l'excavation, le toit de la molasse présentait une surface ondulée, qui a été systématiquement échantillonnée et analysée (Tab. 3, Fig. 9). Tous les échantillons (composés à partir de 5 points de prélèvement) atteignant des teneurs en HAP (y compris en benzo(a)pyrène) satisfaisantes, la planie graveleuse de fondation de l'immeuble projeté a pu être immédiatement confectionnée.



Fig. 6: Fosse circulaire découverte lors des terrassements.



Fig. 7: Polluants en phase liquide lourde au toit de la molasse marneuse.

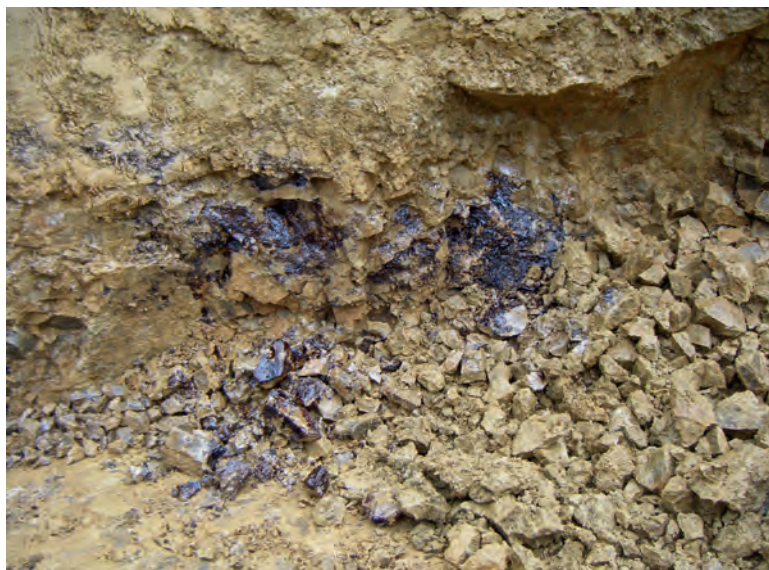


Fig. 8: Traces de HAP vers 80 cm de profondeur liées à une micro-fracturation locale de la molasse marneuse (la hauteur de la photo correspond à environ 1 m).

		Milieu case 6 Molasse 0.0 – 20 cm	Milieu case 6 Molasse 20 – 30 cm	NW case 9 Molasse 0.0 - 20 cm	Milieu case 11 Molasse 0.0 – 20 cm	Milieu case 11 Molasse 20 – 30 cm	DME U	DME T	OTD DCMI	OTD DCB
HC C10–C40	mg/kg	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	50	250	500	5'000
Benzo(a)Pyrène	mg/kg	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	0.1	1	3	10
Σ HAP	mg/kg	-/-	-/-	-/-	0,064	0,2	1	15	25	250

Tab. 3: Teneurs totales (en mg/kg) mesurées dans les échantillons de molasse du top du substratum, avec les valeurs de référence selon la DME et l'OTD.

5 Conclusions

5.1 Éléments caractéristiques propres à ce projet

L'assainissement de l'ancienne usine à gaz de la ville de Delémont présente plusieurs aspects qui méritent d'être signalés, à savoir principalement les trois éléments suivants:

- **Elaboration d'un Plan Hygiène et Sécurité très documenté**, avec des exigences élevées sur les mesures à prendre et les surveillances à réaliser en cours de travaux, le tout contrôlé par le Service cantonal des Arts et Métiers et la SUVA (Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accident). Les décisions qui ont finalement été retenues résultaient toutes d'une profon-

de réflexion sur les moyens à mettre en œuvre pour la protection des travailleurs et de la population environnante.

- **Enceinte de confinement hydraulique**, fichée dans la molasse sur tout le périmètre, réalisée selon la technique MIP (Fig. 5), en mélangeant au moyen d'une tarière le terrain en place avec du coulis de ciment pour obtenir une paroi étanche de 35-40 cm de largeur. Cette méthode a permis d'opérer la totalité des excavations sans venue d'eau, alors qu'elles étaient effectuées en grande partie sous le niveau des eaux souterraines.
- **Projet d'immeuble** réalisé immédiatement à la suite de l'assainissement et comprenant des appartements protégés au



Fig. 9: Surface du toit de la molasse marneuse au terme des excavations.

	Puisard de drainage	CAR01	CAR02	Réf. OSites
Benzo(a)pyrène [B(a)P]	< 0.02 µg/l	< 0.02 µg/l	< 0.02 µg/l	0.05 µg/l
Somme des HAP	0.6 à 3.8 µg/l [*]	< 0.02 µg/l	< 0.02 µg/l	-

[*] Il s'agit essentiellement de naphthalène

Tab. 4: Analyses des eaux souterraines. Contrôle après assainissement (4 mesures entre le 20 août 2014 et le 15 janvier 2016).

cœur de la ville, à proximité de la gare et des commerces.

5.2 Contrôle de l'assainissement et surveillance

Après le contrôle de la réussite de l'assainissement opéré sur le substratum molassique à la fin des travaux d'excavation, un programme de surveillance des eaux souterraines a été mis en place. Quatre campagnes d'analyses ont été réalisées sur une période de 18 mois sur un réseau comprenant 2 piézomètres et un puisard de drainage situés en aval immédiat du site (voir situation sur figure 1, le puisard se trouvant à proximité de l'ancien piézomètre CAR09).

Les résultats, présentés dans le tableau 4 ci-dessous, satisfont pleinement aux objectifs d'assainissement préconisés lors du projet. Il s'agissait de ne pas dépasser, après assainissement, la valeur OSites du benzo(a)pyrène dans les eaux souterraines qui s'écoulent en aval de la source de pollution (soit 0.05 µg/l), respectivement de 10× la valeur OSites de cette même substance dans les eaux qui se déversent dans la Sorne (soit 0.5 µg/l).

Remerciements

Les auteurs remercient la Municipalité de Delémont, par son département de l'urbanisme, de l'environnement et des travaux publics (UETP), MM Pascal Mazzarini et Hubert Jaquier, l'hygiéniste cantonal M. Jean Parrat qui a assuré la bonne qualité du PHS, ainsi que le Maître d'ouvrage, la Société Mandchourie Immobilier SA, MM Yves Luchinger et Pascal Faivre. L'entreprise Ebiox AG (MM Sébastien Fracheboud et Daniel Eiermann) a réalisé les travaux à la grande satisfaction de tous les intervenants.

Nous exprimons également notre gratitude à Madame Christiane Wermeille (division Sols et biotechnologie de l'Office fédéral de l'environnement) et MM Christophe Badertscher, Olivier Frund et Julien Minne (collaborateurs scientifiques à l'Office cantonal de l'environnement du canton du Jura).

Nous remercions également notre collègue Jean-Marc Boem qui bien voulu réviser une première version de cet article.

Bibliographie

- Badertscher, C. & Reusser, C. 2015: Remediation of a former gas plant site in Delémont, in the canton Jura, Switzerland: land recycling in the city centre. In A. P. Pérez, S. Peláez Sánchez, & M. Van Liedekerke: Remediated sites and brownfields. Success stories in Europe (p. 29 et 92 – 95). A report of the European Information and Observation Network's National References Centres for Soil (Eionet NRC Soil). European Commission, Joint Research Centre, EUR 27530 EN; doi 102788/406096. <http://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/remediated-sites-and-brownfields%E2%80%93success-stories-europe>
- Ebiox 2012: Ancienne usine à gaz de Delémont. Excavation et élimination des matériaux. Plan d'hygiène et de sécurité PHS. 21.02.2012. Rapport non publié, 1618 Châtel-St-Denis.
- Jordi, B. 2015: Le traitement des sites pollués avance à grands pas. État de l'investigation, de la surveillance et de l'assainissement. Office fédéral de l'environnement (OFEV), Berne. État de l'environnement UZ-1516-F, 52 p. <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01827/index.html?lang=fr>
- Liniger, H. 1925: Geologie des Delsbergerbeckens und der Umgebung von Movelier. Matériaux carte géologique de la Suisse, 55 Lief., Bern, 1925.
- Office fédéral de l'environnement (OFEV) 1999: DME, Directive pour la valorisation, le traitement et le stockage des matériaux d'excavation et déblais (Directive sur les matériaux d'excavation).- Série « l'environnement pratique», VU- 3003-F.
- OSites Ordonnance fédérale du 26 août 1998 (Etat le 1er janvier 2016) sur l'assainissement des sites pollués (ordonnance sur les sites contaminés), RS 814.680.
- OTD Ordonnance fédérale sur le traitement des déchets du 10 décembre 1990 (Etat le 1er juillet 2011), RS 814.600.