

RAPPORT

22/08/2018

INERIS-DRC-17-164249-11465A

**CONTAMINATION DES EAUX
SOUTERRAINES DANS LE CONTEXTE
DES ICPE ET DES SITES POLLUES**

**COMPARAISON D'OUTILS ET DE
PROTOCOLES D'ECHANTILLONNAGE**

INERIS

maîtriser le risque |
pour un développement durable |

CONTAMINATION DES EAUX SOUTERRAINES DANS LE CONTEXTE DES ICPE ET DES SITES POLLUES

COMPARAISON D'OUTILS ET DE PROTOCOLES D'ECHANTILLONNAGE

Rapport réalisé pour le Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire (MTES)

Personnes ayant participé à l'étude : F. Quiot, B. Charrasse, P. Molina, F. Richez, L. Malherbe, M. Salomon (INERIS).

Etude réalisée avec le concours des sociétés ERG Environnement, ECOGEOSAFE et EUROFINS.

PRÉAMBULE

Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à l'INERIS, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et de la réglementation en vigueur.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

Les avis, recommandations, préconisations ou équivalents qui seraient portés par l'INERIS dans le cadre des prestations qui lui sont confiées, peuvent aider à la prise de décision. Etant donné la mission qui incombe à l'INERIS de par son décret de création, l'INERIS n'intervient pas dans la prise de décision proprement dite. La responsabilité de l'INERIS ne peut donc se substituer à celle du décideur.

Le destinataire utilisera les résultats inclus dans le présent rapport intégralement ou sinon de manière objective. Son utilisation sous forme d'extraits ou de notes de synthèse sera faite sous la seule et entière responsabilité du destinataire. Il en est de même pour toute modification qui y serait apportée.

L'INERIS dégage toute responsabilité pour chaque utilisation du rapport en dehors de la destination de la prestation.

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	Fabrice QUIOT	Roger REVALOR	Martine RAMEL
Qualité	Ingénieur de l'unité Comportement des contaminants dans les sols et matériaux	Responsable de l'unité Comportement des contaminants dans les sols et matériaux	Responsable du Pôle Risque et Technologies Durables
Visa			

SOMMAIRE

1. RESUME	13
2. CONTEXTE ET OBJECTIFS	20
2.1 Surveillance du milieu eau souterraine.....	20
2.2 Exercice de comparaison mené par l'INERIS.....	22
3. MISE EN OEUVRE DE LA COMPARAISON	23
3.1 Démarche retenue.....	23
3.2 Campagnes menées entre 2014 et 2017	24
4. MODALITES D'EXPLOITATION QUALITATIVE ET QUANTITATIVE POUR L'OBJECTIF DE COMPARAISON	29
5. PRESENTATION DES RESULTATS ET DES ENSEIGNEMENTS	31
Influence de la purge	33
Influence de la filtration et de la décantation.....	75
Influence de la volatilisation	95
Influence de la profondeur et du dispositif	119
6. CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	175
7. LISTE DES ANNEXES	180

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1 : Synthèse des campagnes menées dans le cadre de l'exercice de comparaison (2014-2017).....</i>	<i>24</i>
<i>Tableau 2 : Différents protocoles existants concernant la purge avant le prélèvement (adapté d'après API, 2000).....</i>	<i>35</i>
<i>Tableau 3 : Données exploitées pour évaluer l'influence de la purge (cf. Exercice de comparaison, 2014-2017).....</i>	<i>38</i>
<i>Tableau 4 : Données exploitées pour évaluer l'influence de la filtration et de la décantation (cf. Exercice de comparaison, 2014-2017).....</i>	<i>78</i>
<i>Tableau 5 : Site 4 Influence de la filtration, décantation – évolution de la turbidité au cours de la campagne 3</i>	<i>84</i>
<i>Tableau 6 : Critères d'appréciation de la volatilité des produits organiques (le terme pression de vapeur correspond ici à la pression de vapeur saturante).....</i>	<i>97</i>
<i>Tableau 7 : Données exploitées pour évaluer l'influence de la volatilisation (cf. Exercice de comparaison, 2014-2017)</i>	<i>98</i>
<i>Tableau 8 : Données exploitées pour évaluer l'influence de la profondeur, du dispositif (cf. Exercice de comparaison, 2014-2017)</i>	<i>123</i>

Tableau 9 : Synthèse quant à l'influence de la purge sur la représentativité des résultats.....	176
Tableau 10 : Synthèse quant à l'influence de la filtration et de la décantation sur la représentativité des résultats.....	177
Tableau 11 : Synthèse quant à l'influence de la volatilisation sur la représentativité des résultats.....	177
Tableau 12 : Synthèse quant à l'influence de la profondeur, du dispositif, sur la représentativité des résultats.....	178

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Contextes de gestion ICPE associés à une surveillance du milieu eau souterraine.....	20
Figure 2 : Prélèvement d'eau souterraine à partir d'un piézomètre (ex. pompe pneumatique à vessie, Photo INERIS)	21
Figure 3 : Carte piézométrique avec ligne de courant principale (en rouge : direction NW-SE, sens SE).....	21
Figure 4 : Illustration d'un aquifère alluvial et d'un piézomètre permettant d'accéder à la nappe (la nappe correspond à la zone saturée en bleue).....	25
Figure 5 : Poids global des 7 familles de polluants identifiées dans les nappes des sites pollués (CGDD, 2013)	26
Figure 6 : Illustration de la cuve expérimentale MAPI (Modèle d'Aquifère Poreux à l'échelle Intermédiaire, ARDEVIE, Aix-en-Provence)	27
Figure 7 : Base de données mise en place par l'INERIS pour gérer les données et informations acquises lors des campagnes.....	28
Figure 8 : Présentation graphique type pour la comparaison (recherche de la substance X à partir d'échantillons obtenus sur 2 piézomètres et 5 dispositifs)	29
Figure 9 : Synthèse des questions traitées par l'INERIS	32
Figure 10 : Exemples de l'effet de la purge sur les résultats (cas de l'ion chlorure pour plusieurs campagnes et cas de différents paramètres, anions, cations majeurs, pour une même campagne. Source : page 108, EA 2014).....	36
Figure 11 : Site 1 Influence de la purge – Concentrations en COHV sur 3 piézomètres et pour la première campagne (PP36-LF)	40
Figure 12 : Site 1 Influence de la purge – Concentrations en COHV sur 3 piézomètres et pour la première campagne (Bailer)	41
Figure 13 : Site 1 Influence de la purge – Concentrations en COHV sur 1 piézomètre pour la première campagne (Bailer et PP36-LF)	42
Figure 14 : Site 1 Influence de la purge – Concentrations en COHV sur 1 piézomètre et pour 2 campagnes (Bailer et PP36-LF)	43
Figure 15 : Site 2 Influence de la purge – Concentrations en BTEX, Naphtalène et indice HCT sur 2 piézomètres et pour 2 campagnes (MP1)	46

<i>Figure 16 : Site 2 Influence de la purge – Concentrations en BTEX, Naphtalène et indice HCT sur 1 piézomètre et pour 3 campagnes (MP1).....</i>	<i>47</i>
<i>Figure 17 : Site 2 Influence de la purge – Concentrations en BTEX, Naphtalène et indice HCT sur 1 piézomètre et pour la dernière campagne (MP1).....</i>	<i>48</i>
<i>Figure 18 : Site 3 Influence de la purge – Concentrations en substances hydrocarbures identifiées (>LQ) sur 1 piézomètre et pour 2 campagnes (Bailer et PP36-LF)</i>	<i>50</i>
<i>Figure 19 : Site 3 Influence de la purge – Concentrations en substances hydrocarbures identifiées (>LQ) sur quatre ouvrages pour la dernière campagne (Bailer et PP36-LF)</i>	<i>51</i>
<i>Figure 20 : Site 3 Influence de la purge – Droites de corrélation relatives au résultats acquis au cours de 4 campagnes via le Bailer (en haut) et la pompe PP36-LF (en bas)</i>	<i>52</i>
<i>Figure 21 : Site 4 Influence de la purge – Concentrations en substances hydrocarbures identifiées (>LQ) sur 1 piézomètre pour la première campagne (Bailer et PP36-LF) 56</i>	
<i>Figure 22 : Site 4 Influence de la purge – Concentrations en substances hydrocarbures identifiées (>LQ) - hors naphtalène - sur 1 piézomètre pour la première campagne (Bailer et PP36-LF).....</i>	<i>57</i>
<i>Figure 23 : Site 4 Influence de la purge – Concentrations en substances hydrocarbures identifiées (>LQ) sur 2 piézomètres pour 3 campagnes (Bailer).....</i>	<i>58</i>
<i>Figure 24 : Site 4 Influence de la purge – Concentrations en substances hydrocarbures identifiées (>LQ) sur 2 piézomètres pour 3 campagnes (PP36-LF).....</i>	<i>59</i>
<i>Figure 25 : Site 5 Influence de la purge – Concentrations en ETM sur 1 piézomètre pour 3 campagnes (Bailer et PP36-LF)</i>	<i>62</i>
<i>Figure 26 : Site 5 Influence de la purge – Diagraphies sur Pz4 pour la campagne 2 63</i>	
<i>Figure 27 : Site 5 Influence de la purge – Diagraphies sur Pz4 pour la campagne 3 64</i>	
<i>Figure 28 : Site 6 Influence de la purge – Concentrations en anions et cations majeurs sur 2 piézomètres pour 2 campagnes (Bailer et PP36-LF).....</i>	<i>67</i>
<i>Figure 29 : Site 6 Influence de la purge – Concentrations en calcium sur 2 piézomètres pour 2 campagnes (Bailer et PP36-LF)</i>	<i>68</i>
<i>Figure 30 : Site 4 Influence de la filtration, décantation – Concentrations en naphtalène sur 1 piézomètre (P4) pour la seconde campagne (PP36-LF).....</i>	<i>80</i>
<i>Figure 31 : Site 4 Influence de la filtration, décantation – Concentrations en naphtalène sur 1 piézomètre (P5) pour la seconde campagne (PP36-LF).....</i>	<i>81</i>
<i>Figure 32 : Site 4 Influence de la filtration, décantation – Concentrations en naphtalène sur 1 piézomètre (P6) pour la seconde campagne (PP36-LF).....</i>	<i>82</i>
<i>Figure 33 : Site 4 Influence de la filtration, décantation – Concentrations en substances hydrocarbures identifiées (>LQ) sur 1 piézomètre (P5) pour la troisième campagne (PP36-LF).....</i>	<i>83</i>
<i>Figure 34 : Site 5 Influence de la filtration, décantation – Concentrations en Pb et Zc sur 2 piézomètres pour 3 campagne (PP36-LF).....</i>	<i>87</i>
<i>Figure 35 : Site 5 Influence de la filtration, décantation – Concentrations en Zn sur 1 piézomètre (Pz4) selon 3 filtres utilisés pour la troisième campagne (PP36-LF).....</i>	<i>88</i>

<i>Figure 36 : Site 5 Influence de la filtration, décantation – Diagraphies sur Pz4 pour la campagne 2.....</i>	<i>89</i>
<i>Figure 37 : Site 5 Influence de la filtration, décantation – Diagraphies sur Pz4 pour la campagne 3.....</i>	<i>90</i>
<i>Figure 38 : Site 1 Influence de la volatilisation – Concentrations en COHV sur 2 piézomètres pour 2 campagnes (Bailer, Gigant, PP36-LF)</i>	<i>101</i>
<i>Figure 39 : Site 2 Influence de la volatilisation – Concentrations en Benzène et Toluène sur 3 piézomètres pour 4 campagnes (MP1, Gigant, PP36-LF)</i>	<i>104</i>
<i>Figure 40 : Site 2 Influence de la volatilisation – Concentrations en Benzène et Toluène sur 1 piézomètre (Pz3) pour 4 campagnes (MP1, Gigant, PP36-LF)</i>	<i>105</i>
<i>Figure 41 : Site 3 Influence de la volatilisation – Concentrations en Benzène et Naphtalène sur 3 piézomètres pour 2 campagnes (Bailer, PP36-LF, Péristaltique, Gigant).....</i>	<i>108</i>
<i>Figure 42 : Site 4 Influence de la volatilisation – Concentrations en BTEX sur 1 piézomètre (P5) pour 3 campagnes (Bailer, PP36-LF, Péristaltique, Gigant).....</i>	<i>111</i>
<i>Figure 43 : Site 4 Influence de la volatilisation – Concentrations en Benzène et Toluène sur 1 piézomètre (P5) pour 3 campagnes (Bailer, PP36-LF, Péristaltique, Gigant)</i>	<i>112</i>
<i>Figure 44 : Illustration d’une simulation d’écoulement réalisée à partir d’un modèle numérique de la cuve expérimentale MAPI (sous GMS - MODFLOW)</i>	<i>114</i>
<i>Figure 45 : Cuve expérimentale Influence de la volatilisation – Concentrations en Benzène sur 3 piézomètres pour 2 campagnes (5 dispositifs)</i>	<i>115</i>
<i>Figure 46 : Cuve exp. Influence de la volatilisation – Concentrations en Benzène sur 1 piézomètre (Pz3) pour une campagne (5 dispositifs)</i>	<i>116</i>
<i>Figure 47 : Profondeurs de forage à envisager selon les polluants en présence (en violet) – cas d’un aquifère homogène (MTES, 2018).....</i>	<i>121</i>
<i>Figure 48 : Représentation schématique de l’influence des flux verticaux sur l’homogénéisation de la colonne d’eau (INERIS, 2016 - BIODéPOL).....</i>	<i>122</i>
<i>Figure 49 : Site 1 Influence de la profondeur, du dispositif – Concentrations en COHV sur 3 piézomètres pour 2 campagnes (Bailer, Gigant, PP36-LF)</i>	<i>127</i>
<i>Figure 50 : Site 1 Influence de la profondeur, du dispositif – Concentrations en COHV sur 7 piézomètres pour 2 campagnes avec prélèvements à 2 niveaux (PP36-LF).</i>	<i>128</i>
<i>Figure 51 : Site 2 Influence de la profondeur, du dispositif – Concentrations en substances hydrocarbures identifiées (>LQ) sur 2 piézomètres pour 4 campagnes (MP1, Gigant, PP36-LF)</i>	<i>132</i>
<i>Figure 52 : Site 2 Influence de la profondeur, du dispositif – Indice hydrocarbures (HCT) sur 2 piézomètres pour 4 campagnes (MP1, Gigant, PP36-LF)</i>	<i>133</i>
<i>Figure 53 : Dispositif « MLPS » pour Multi-Level Passive Sampler (INERIS, 2016 – BIODéPOL).....</i>	<i>138</i>
<i>Figure 54 : Site 3 Influence de la profondeur, du dispositif – Concentrations en substances hydrocarbures identifiées (>LQ) sur 7 piézomètres pour 3 campagnes (Bailer, PP36-LF, Péristaltique, Gigant).....</i>	<i>139</i>

<i>Figure 55 : Site 3 Influence de la profondeur, du dispositif – Concentrations en substances hydrocarbures identifiées (>LQ) sur 3 piézomètres pour 2 campagnes (Bailer, PP36-LF, Péristaltique, Gigant).....</i>	<i>140</i>
<i>Figure 56 : Site 3 Influence de la profondeur, du dispositif – Concentrations en Benzène et Naphtalène sur 1 piézomètre (Pz43) pour la seconde campagne avec prélèvements à 3 niveaux (5 dispositifs).....</i>	<i>141</i>
<i>Figure 57 : Site 3 Influence de la profondeur, du dispositif – Concentrations en Benzène et Naphtalène sur 1 piézomètre (Pz47) pour la seconde campagne avec prélèvements à 3 niveaux (5 dispositifs).....</i>	<i>142</i>
<i>Figure 58 : Site 3 Influence de la profondeur, du dispositif – Concentrations en Benzène et Naphtalène sur 1 piézomètre (Pz50) pour la seconde campagne avec prélèvements à 3 niveaux (5 dispositifs).....</i>	<i>143</i>
<i>Figure 59 : Site 3 Influence de la profondeur, du dispositif – Concentrations en Benzène sur 1 piézomètre (Pz43) pour la seconde campagne avec prélèvements à 3 niveaux (5 dispositifs).....</i>	<i>144</i>
<i>Figure 60 : Site 3 Influence de la profondeur, du dispositif – Concentrations en Naphtalène sur 1 piézomètre (Pz43) pour la seconde campagne avec prélèvements à 3 niveaux (5 dispositifs).....</i>	<i>145</i>
<i>Figure 61 : Piézomètre dit « complet » à gauche et piézomètres en « flûte de pan » à droite.....</i>	<i>146</i>
<i>Figure 62 : Site 3 Influence de la profondeur, du dispositif – Flux verticaux sur 2 piézomètres pour 3 campagnes</i>	<i>147</i>
<i>Figure 63 : Site 4 Influence de la profondeur, du dispositif – Concentrations en substances hydrocarbures identifiées (>LQ) sur 1 piézomètre (P5) pour 3 campagnes (Bailer, PP36-LF, Péristaltique, Gigant).....</i>	<i>151</i>
<i>Figure 64 : Site 4 Influence de la profondeur, du dispositif – Concentrations en acénaphène et naphtalène sur 1 piézomètre (P5) pour 3 campagnes (Bailer, PP36-LF, Péristaltique, Gigant).....</i>	<i>152</i>
<i>Figure 65 : Site 4 Influence de la profondeur, du dispositif – Concentrations en substances hydrocarbures identifiées (>LQ) sur 1 piézomètre (P6) pour 3 campagnes (Bailer, PP36-LF, Péristaltique, Gigant).....</i>	<i>153</i>
<i>Figure 66 : Site 4 Influence de la profondeur, du dispositif – Concentrations en acénaphène et naphtalène sur 1 piézomètre (P6) pour 3 campagnes (Bailer, PP36-LF, Péristaltique, Gigant).....</i>	<i>154</i>
<i>Figure 67 : Site 4 Influence de la profondeur, du dispositif – Concentrations en substances hydrocarbures identifiées (>LQ) sur 1 piézomètre (P1) pour une campagne avec prélèvements à 3 niveaux (6 dispositifs).....</i>	<i>155</i>
<i>Figure 68 : Site 4 Influence de la profondeur, du dispositif – Concentrations en substances hydrocarbures identifiées (>LQ) sur 1 piézomètre (P5) pour 3 campagnes avec prélèvements à 3 niveaux (Bailer, PP36-LF, Péristaltique, Gigant)</i>	<i>156</i>
<i>Figure 69 : Site 5 Influence de la profondeur, dispositif – Concentrations en Pb et Zc sur 2 piézomètres pour 3 campagne (PP36-LF).....</i>	<i>160</i>

<i>Figure 70 : Site 6 Influence de la profondeur, du dispositif – Concentrations en anions et cations majeurs sur 2 piézomètres pour 3 campagnes (Bailer et PP36-LF).....</i>	<i>165</i>
<i>Figure 71 : Site 6 Influence de la profondeur, du dispositif – Concentrations en calcium sur 2 piézomètres pour 3 campagnes (Bailer et PP36-LF).....</i>	<i>165</i>
<i>Figure 72 : Site 6 Influence de la profondeur, du dispositif – Concentrations en anions et cations majeurs sur 2 piézomètres pour une campagne (Bailer et PP36-LF).....</i>	<i>166</i>
<i>Figure 73 : Site 6 Influence de la profondeur, du dispositif – Concentrations en calcium sur 2 piézomètres pour une campagne (Bailer et PP36-LF).....</i>	<i>167</i>
<i>Figure 74 : Cuve exp. Influence de la profondeur, du dispositif – Concentrations en Benzène sur 1 piézomètre pour 3 campagnes (5 dispositifs)</i>	<i>170</i>

ABREVIATIONS

AEP : Alimentation en Eau Potable
AFNOR : Association Française de Normalisation
AN : Atténuation Naturelle
API : American Petroleum Institute
BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières
BTEX : Benzène ; Toluène ; Éthylbenzène ; Xylènes (ortho, méta et para)
CGDD : Commissariat Général au Développement Durable
COHV : Composés Organiques Halogénés Volatils
COT : Carbone Organique Total
DDAE : Dossier de Demande d'Autorisation d'Exploiter
DGPR : Direction Générale de la Prévention des Risques
DNAPL : Dense, Non-Aqueous Phase Liquid
EA : Environment Agency
EPA : Environmental Protection Agency
ETM : Éléments Traces Métalliques
HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
ICPE : Installations Classées pour la Protection de l'Environnement
IEM : Interprétation de l'État des Milieux
INERIS : Institut National de L'Environnement Industriel et des Risques
ISDnD : Installation de Stockage de Déchets non Dangereux
LNAPL : Light, Non-Aqueous Phase Liquid
LQ : Limite de Quantification
MTBE : Méthyl ter-butyl éther
MTES : Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire
NGF : Nivellement Général de la France
NTU (ou UTN en Français) : Unité de Turbidité Néphélométrique
PCE : Perchloroéthylène (ou tétrachloroéthylène)
TCE : Trichloroéthylène

1. RESUME

Aujourd'hui, différents outils et protocoles sont disponibles pour déterminer la qualité du milieu eau souterraine dans le domaine des ICPE et des sites pollués. Des normes et des guides techniques peuvent promouvoir ou non certaines pratiques ou technologies en fonction du contexte. Cependant, des questions continuent à se poser au sein de la profession, comme par exemple, la purge est-elle indispensable ? quelle est l'influence de la volatilisation sur la représentativité des concentrations en polluants volatils, en particulier dans le cas de substances à forts enjeux sanitaires comme le benzène ou les composés halogénés ?...

L'INERIS a donc entrepris de mener un exercice de comparaison sur la période 2014-2017 afin de disposer **d'éléments factuels** permettant de **clarifier l'influence de certains choix sur la représentativité des concentrations**.

La démarche suivie repose sur l'acquisition d'un jeu de données important et pour une gamme de concentrations étendue afin d'en extraire **des tendances ou tout au moins illustrer la variabilité des résultats** (tout en considérant l'incertitude fournie par le laboratoire). Une **démarche proportionnée et adaptée au regard des pratiques actuelles** des bureaux d'études a été menée en collaboration avec certains d'entre eux (ERG Environnement, ECOGEO SAFE) et un laboratoire (EUROFINS) pour garantir le caractère opérationnel et le transfert des connaissances acquises.

Quatre questions ont été particulièrement étudiées :

- l'influence de la purge sur la représentativité des résultats ?
- l'influence de la filtration et de la décantation sur la représentativité des résultats ?
- l'influence de la volatilisation sur la représentativité des résultats ?
- l'influence de la profondeur de prélèvement et du dispositif utilisé sur la représentativité des résultats ?

L'exploitation des données acquises a reposé sur deux approches :

- une analyse des tendances par lecture graphique, en intégrant les incertitudes fournies par le laboratoire d'analyses ;
- une approche statistique, en présence d'un nombre suffisant de données.

Des conclusions spécifiques à chacune des 4 questions traitées sont formulées à l'issue de chacune des 4 parties composant ce document et synthétisées ci-après.

Ce document permet de faire **un point sur l'état de l'art**, mais aussi **d'illustrer la variabilité** qui peut exister entre deux ouvrages, deux campagnes, voire suite à l'utilisation de dispositifs de prélèvements différents. Ces résultats conduisent à **mettre en avant des tendances** et sont l'occasion de formuler, ou de rappeler, des recommandations qui ne sont pas toujours mises en pratique sur le terrain.

Ce travail permet aussi de rappeler que, tout comme les étapes de prélèvement et de transport, l'étape d'analyse peut également induire des résultats erronés, en particulier suite à des contaminations croisées, ou des difficultés d'interprétation des chromatogrammes.

Certains enseignements sont spécifiques au site étudié (ex. influence de la purge) tandis que d'autres sont d'ordre plus général (ex. influence de la volatilisation).

Principales conclusions quant à l'influence de la purge sur la représentativité des résultats



Purge (pompe immergée) avec suivi piézométrique

Le renouvellement de l'eau dans l'ouvrage s'avère suffisant dans de nombreux cas et purger l'ouvrage n'a pas d'effet notable sur les concentrations obtenues. Toutefois, la présence d'une phase pure ou d'une émulsion (huile) ou encore de particules influence les résultats

L'INERIS propose de retenir une démarche proportionnée afin de juger de la pertinence de mener une purge, spécifique à chaque site, comprenant une comparaison :

- des résultats obtenus selon différents protocoles sur *a minima* 3 piézomètres, avec purge et sans purge, notamment en réalisant une purge à faible débit (< 1L/mn, soit de l'ordre de 0,5 L/mn) ;
- pour une durée *a minima* de deux cycles hydrologiques (2 régimes de hautes eaux et 2 de basses eaux).

Une mesure de la turbidité et une recherche de la présence de phase ou d'irisation est recommandée pour faciliter l'interprétation des résultats.

Le protocole sans purge, établi suite à cette démarche spécifique au site étudié devra être validé dans le temps par une comparaison menée de nouveau dans le cadre du bilan (quadriennal) sur une à deux campagnes selon la variabilité observée entre deux campagnes.

Principales conclusions quant à l'influence de la filtration et de la décantation sur la représentativité des résultats



Filtration d'un échantillon sur site

La présence de particules influence les résultats (cf. sorption des HAP, échanges cationiques des ETM)

Le demandeur doit se rapprocher du laboratoire afin de s'entendre sur la préparation des échantillons, en fonction des substances recherchées et de de l'objectif de l'étude menée :

- lorsque l'objectif est de connaître la qualité de l'eau pour en faire usage (puits de particulier), c'est la concentration totale du paramètre qui est recherchée – pas de filtration ;
- lorsque l'objectif est d'étudier un impact en aval hydraulique et de caractériser la fraction susceptible de migrer avec l'eau souterraine – filtration (cf. AFNOR NF X 31-615).

L'US EPA recommande de réaliser un double échantillonnage. Sans aller jusqu'à proposer de la rendre permanente, une telle approche s'avère d'ores et déjà nécessaire dans le cadre de l'étude d'une pollution, où peuvent être menés de fronts :

- une IEM à partir de mesures de la qualité de l'eau souterraine au niveau d'un puits de particulier et d'information quant à la présence d'ETM (totaux : pas de filtration) ;
- une modélisation de transfert, à partir de mesures portant sur la fraction dissoute en ETM (filtration à 0,45 μm).

Des résultats acquis sur les ETM par des partenaires d'AQUAREF amènent les auteurs à recommander de privilégier une filtration sur site à une filtration au laboratoire (en particulier considérant le fer et l'arsenic).

Une mesure de la turbidité est recommandée pour faciliter l'interprétation des résultats.

Principales conclusions quant à l'influence de la volatilisation sur la représentativité des résultats



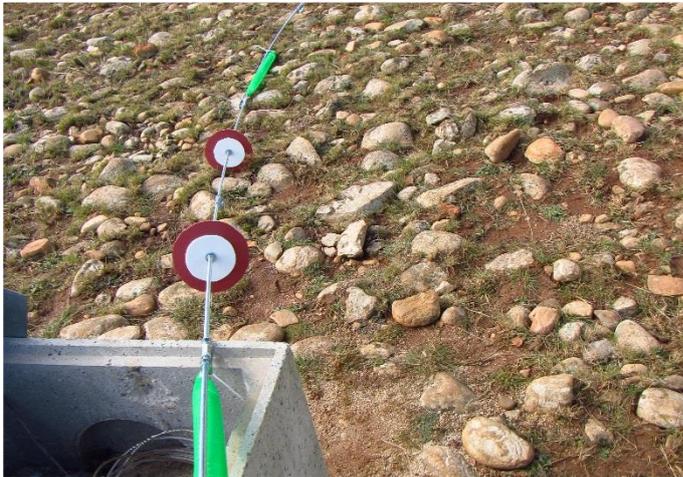
Remplissage d'un flacon

Les données acquises ne permettent pas de mettre en évidence une perte de substance volatile et de recommander l'acquisition et l'utilisation d'un matériel particulier parmi ceux testés

L'INERIS rappelle les règles de bons sens conduisant « en théorie » à limiter la volatilisation (cf. AFNOR NF X 31-615) :

- pour des pompes, les débits doivent être limités pour la purge et le prélèvement (utiliser le même dispositif) ;
- pour un outil immergé, la descente d'une pompe immergée, d'un bailer, etc. doit s'effectuer le plus lentement possible. La remontée d'un outil comme le bailer doit également s'effectuer le plus lentement possible ;
- remplir le flacon fourni par le laboratoire lentement et à ras bord ;
- ne pas filtrer l'échantillon.

Principales conclusions quant à l'influence de la profondeur, du dispositif, sur la représentativité des résultats



Dispositif « MLPS » pour Multi-Level Passive Sampler

La présence d'une phase pure ou d'une émulsion (huile) ou encore de particules influence les résultats.

Les données acquises ne permettent pas de recommander l'acquisition et l'utilisation d'un matériel particulier parmi ceux testés ici pour mener à bien un prélèvement à plusieurs niveaux

La profondeur de prélèvement apparaît comme un élément fondamental de la surveillance de la qualité du milieu eau souterraine. En effet, elle conditionne deux aspects essentiels du plan d'échantillonnage, d'une part, les caractéristiques du piézomètre, d'autre part, le dispositif de prélèvement retenu.

Le prélèvement mononiveau reste pertinent dans de nombreux cas. Cependant, certains contextes peuvent induire une stratification du panache de pollution et nécessiter de recourir à un prélèvement multiniveau. Ces contextes sont généralement liés à :

- une nappe dont l'épaisseur est supérieure à plusieurs mètres ;
- la présence de niveaux plus ou moins perméables au sein de la nappe ;
- la présence de substances dont la densité en phase pure est supérieure à 1, ce qui conduit à une migration en profondeur de cette phase pure (cas du PCE ou du TCE) ;
- une pollution ancienne, ayant migrée en zone non saturée puis saturée (vers le mur de l'aquifère).

L'INERIS rappelle que :

- la recherche d'une pollution en phase pure, plus dense que l'eau (DNAPL), ne doit pas conduire à réaliser, quel que soit le contexte, des prélèvements en partie basse de la nappe ou à plusieurs niveaux. La démarche doit rester opérationnelle et rationnelle, et tenir compte notamment de l'ancienneté de la pollution ou encore de l'épaisseur de la zone insaturée puis saturée (ou nappe) ;

- la présence d'une phase flottante voire d'une irisation, moins dense que l'eau (LNAPL), conduira à obtenir des concentrations majorées par rapport à la qualité intrinsèque de l'eau souterraine, il conviendra d'adapter le protocole de prélèvement (cf. purge) ou le piézomètre considéré, à l'objectif recherché (prélèvement de phase flottante ou prélèvement de phase dissoute). Une recherche systématique de la présence de phase ou d'irisation est recommandée ;
- la présence de particules conduira à obtenir des concentrations majorées par rapport à la qualité intrinsèque de l'eau souterraine dans le cas des ETM et des HAP. Il conviendra d'adapter le protocole de prélèvement (cf. purge, temps de repos pour sédimentation, filtration ou non de l'échantillon) à l'objectif recherché. Quoi qu'il en soit le prélèvement à proximité immédiate du fond de l'ouvrage n'est pas recommandé. Une mesure systématique de la turbidité est recommandée.

En conclusion, l'une des questions posées portait sur le prélèvement à différents niveaux dans un piézomètre (intégrée à la question de la profondeur). Bien que cette pratique soit amenée à se développer à l'avenir (cf. recommandations de la norme AFNOR NF X 31-615 actualisée en 2017, guide DGPR de 2018), l'INERIS n'est pas en mesure à ce jour de recommander un outil et un protocole à employer sur les sites disposant d'ouvrages « classiques » ou « complets », c'est à dire avec une crépine sur la majeure partie du tubage immergé. En effet, le dispositif, mais également le piézomètre en lui-même, jouent un rôle dans la représentativité de l'échantillon prélevé à un niveau donné. Les travaux menés se poursuivront en ce sens à l'avenir : **sans aller jusqu'à la réalisation systématique de piézomètres en flûte de pan, quel outil et protocole employer dans le cadre d'un prélèvement à plusieurs niveaux (à partir d'un piézomètre complet) ?**

Suite à la rédaction de ce document, l'INERIS mettra prochainement l'accent sur la **diffusion vers les opérateurs de terrain des informations acquises**, au travers de supports adaptés (fiche de synthèse avec illustrations, animations, etc.).

2. CONTEXTE ET OBJECTIFS

2.1 SURVEILLANCE DU MILIEU EAU SOUTERRAINE

La surveillance du milieu eau souterraine dans le domaine des ICPE et des sites pollués peut être menée en lien avec différents contextes de gestion comme l'illustre la Figure 1.

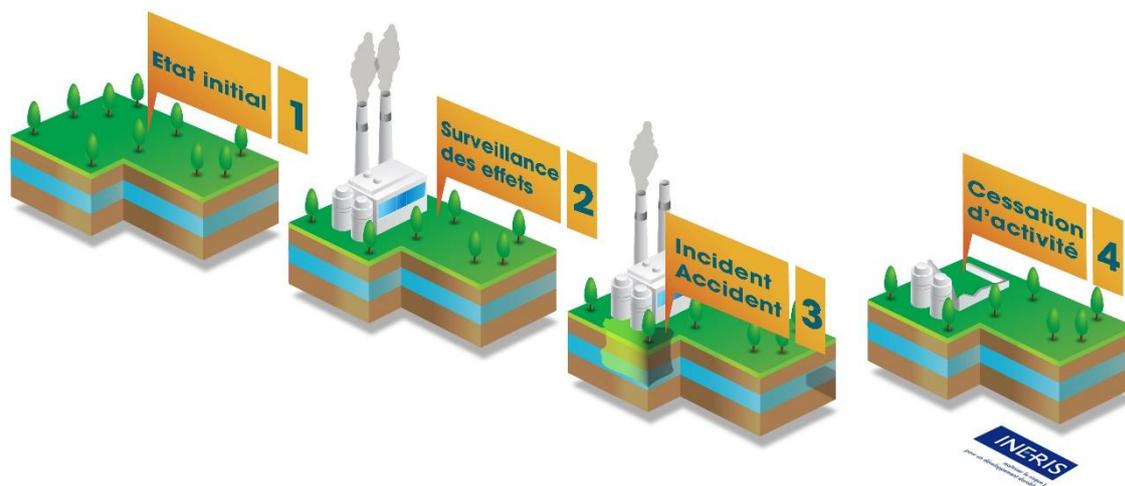


Figure 1 : Contextes de gestion ICPE associés à une surveillance du milieu eau souterraine

La surveillance peut s'avérer « préventive », comme dans les 2 premiers cas (cf. 1 et 2, Figure 1), où il s'agira de **définir un état initial** (cf. rédaction du DDAE) ou **d'anticiper une dégradation du milieu** (cf. prescriptions de l'arrêté préfectoral d'autorisation d'exploiter ou d'un arrêté complémentaire dédié à la surveillance environnementale). Elle peut également être renforcée voire mise en place dans les 2 cas suivants (cf. 3 et 4, Figure 1), où il s'agira de **rechercher et de suivre** les effets d'une fuite ou d'une perte de confinement accidentelle sur le milieu eau souterraine avant de **dimensionner et vérifier l'efficacité** d'une mesure de gestion.

Quel que soit son cadre, la surveillance doit permettre d'acquérir des données :

- sur la **qualité du milieu**, à partir d'un prélèvement (cf. Figure 2) qui conduit à disposer d'un échantillon transmis par la suite à un laboratoire pour analyses et aussi à partir de mesures comme celles de paramètres physico-chimiques sur le terrain (pH, Eh, conductivité, etc.) ;
- sur la **direction et le sens d'écoulement**, via la mesure des niveaux piézométriques en plusieurs points au cours d'une même campagne pour dresser une carte piézométrique (cf. Figure 3).



Figure 2 : Prélèvement d'eau souterraine à partir d'un piézomètre (ex. pompe pneumatique à vessie, Photo INERIS)

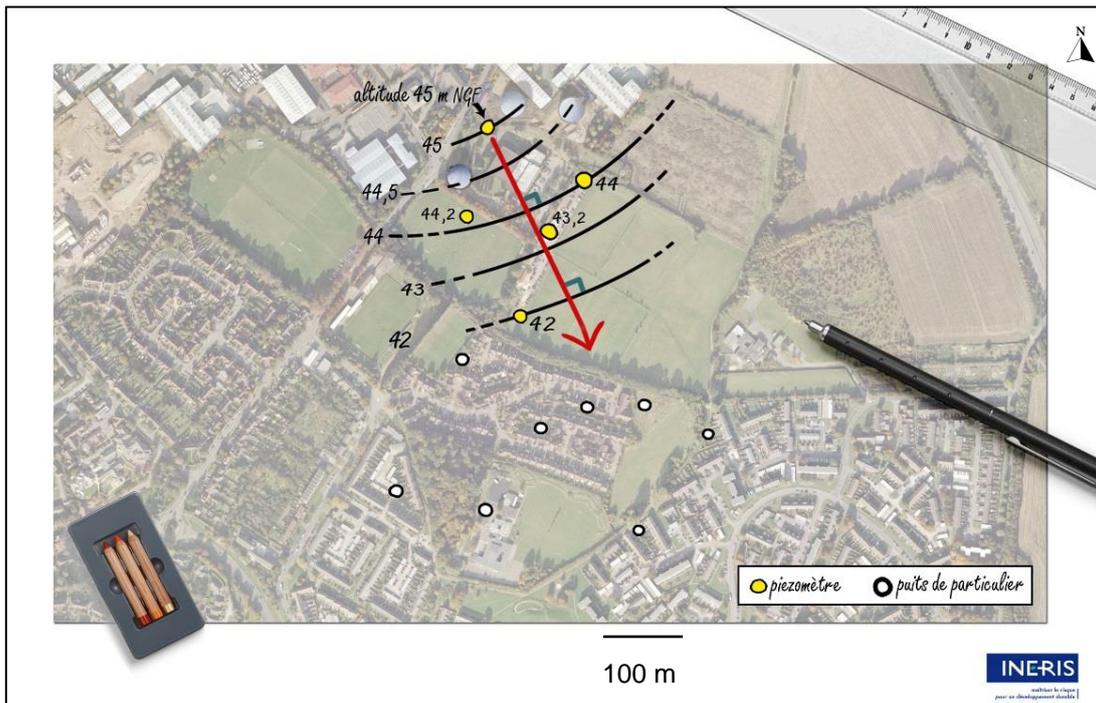


Figure 3 : Carte piézométrique avec ligne de courant principale (en rouge : direction NW-SE, sens SE)

Pour aller plus loin :

« Surveillance de la qualité des eaux souterraines appliquée aux ICPE et sites pollués » MTES DGPR, 2018

2.2 EXERCICE DE COMPARAISON MENE PAR L'INERIS

Afin de déterminer la qualité de ce milieu caché depuis la surface du sol, **la représentativité** de l'échantillon d'eau souterraine prélevé s'avère cruciale, en particulier dans le cadre d'une évaluation de risque sanitaire, or, cette représentativité est pour partie liée aux outils et protocoles de prélèvement employés.

Il existe aujourd'hui différentes sources de recommandations sur ce point (méthodologiques, normatives : cf. annexe 1), toutefois, des questions perdurent et la profession manque de données de comparaison quantifiées afin de **clarifier certains choix** portant sur les outils (actifs, passifs) et protocoles (prélèvement à un niveau ou à plusieurs niveaux, débit de purge et de prélèvement appliqués, etc.) les plus adaptés à la situation rencontrée.

L'INERIS a donc lancé une démarche destinée à disposer **d'éléments factuels** pour comparer le résultat (concentration donnée par le laboratoire) délivré par différents outils et protocoles de prélèvement des eaux souterraines à plusieurs échelles, et à évaluer la performance de ces derniers.

Suite aux premiers retours d'expériences pratiques, l'INERIS a lancé à partir de 2015 une approche sur plusieurs sites pollués dans le cadre du programme d'appui conduit pour le compte du Ministère en charge de l'Environnement.

Il s'agissait en premier lieu d'**apporter des éléments quantifiés, permettant d'illustrer les variations susceptibles d'être observées de nos jours en termes de concentrations en polluants selon le recours à telle ou telle technique d'échantillonnage** (intégrant outil et protocole retenus).

Cette étude a aussi bénéficié des résultats du projet BIODéPOL¹ dont l'objectif principal était d'évaluer la faisabilité opérationnelle sur un site atelier, de mise en œuvre de l'atténuation naturelle comme mesure de gestion. Le travail réalisé dans le cadre de ce projet a conduit également à comparer les coûts, le temps nécessaire à la réalisation de l'échantillonnage et *in fine*, à évaluer la performance d'un outil (facilité ou difficulté de mise en œuvre, fragilité, etc.).

Pour aller plus loin :

Synthèse BIODéPOL en ligne sur ineris.fr

« Comparaison entre outils et protocoles d'échantillonnage des eaux souterraines sur le site atelier de la Crau – BIODéPOL » INERIS, 2017

Il est important de préciser à ce stade que la représentativité d'un échantillon dépend également d'autres facteurs, et en particulier :

- du piézomètre, ouvrage donnant accès à la nappe ;
- de l'incertitude associée à l'étape d'échantillonnage en elle-même ;
- de l'incertitude associée à l'analyse en laboratoire.

¹ BIODéPOL (« Méthode dynamique et quantitative de suivi des mécanismes de BIODégradation des POLLuants dans les eaux souterraines ») est un projet co-financé par la Région PACA qui a réuni 3 partenaires ATGEO, ECOGEOSAFE et INERIS de 2014 à 2017

L'incertitude en laboratoire est donnée par le laboratoire d'analyses. Par exemple, lorsque par la suite il est noté pour le chloroforme « incertitude 0,6 » : la plage d'incertitude sera de $2 \times 0,6 \times [\text{concentration}]$.

Celles inhérentes au piézomètre et au prélèvement sont plus difficiles à quantifier d'où l'intérêt ici de réaliser plusieurs campagnes pour valider les observations (contrairement à des travaux identifiés dans la bibliographie et cités par la suite où les recommandations étaient basées sur des résultats acquis sur un site, sur une voire sur deux campagnes).

Pour aller plus loin :

Film disponible sur ineris.fr et YouTube : « Piézomètre : les bonnes pratiques à mettre en œuvre dans le domaine des ICPE, sites pollués » INERIS, 2018

« Factors Influencing Variability in Groundwater Monitoring Data Sets » McHugh et al. 2011

3. MISE EN OEUVRE DE LA COMPARAISON

3.1 DEMARCHE RETENUE

La démarche suivie par l'INERIS au cours de cette période (2014-2017) visait à tester dans le cadre d'actions **reproductibles dans le temps et dans l'espace** :

- ce qui est réellement fait sur site aujourd'hui ;
- ce qui est disponible mais peu employé à ce jour (faible retour d'expérience, coût élevé, etc.) ;
- ce qui est en cours de développement (suivant les travaux R&D de l'INERIS en particulier).

Les travaux menés concernent notamment les questions de la profession² liées à :

- l'échantillonnage de substances organiques volatiles ;
- l'échantillonnage à partir de systèmes actifs ou passifs ;
- l'échantillonnage ponctuel ou à plusieurs niveaux de la nappe ;
- l'influence de la purge ;
- l'influence de la préparation de l'échantillon (sur site, au laboratoire) ;
- l'influence du débit de pompage.

² Ces questionnements ont été identifiés par l'INERIS au cours d'échanges avec des personnes responsables et/ou intervenants lors de campagnes de prélèvements : dans le cadre d'événements comme des journées techniques ou des congrès ; au travers d'analyses critiques ou de tierces expertises.

Cette démarche repose sur l'acquisition d'un jeu de données important et pour une gamme de concentrations étendue, obtenu à partir de différentes techniques, mises en œuvre sous différentes conditions (hydrodynamiques et météorologiques), afin d'en extraire **des tendances ou tout au moins des illustrations de la variabilité des résultats**. L'INERIS a fait le choix d'une **démarche proportionnée et adaptée au regard des pratiques actuelles** des bureaux d'études. Ainsi, concernant les analyses, le choix a été fait de se placer dans les conditions classiques d'intervention dans le domaine des ICPE et des sites pollués, d'où le recours à un laboratoire « de routine » et non pas au laboratoire de l'INERIS ou à un laboratoire universitaire comme ce fut le cas précédemment (INERIS, 2014). Le choix d'un unique laboratoire avait également pour ambition de minimiser les effets liés au flaconnage, au transport, à la conservation et à l'analyse. Concernant les piézomètres, les ouvrages en place ont été utilisés.

Dans le cadre de ces travaux, l'INERIS s'est donc associé à des bureaux d'études (ERG Environnement, ECOGEO SAFE) et au laboratoire EUROFIN³ pour garantir l'opérationnalité et le transfert des connaissances acquises.

3.2 CAMPAGNES MENEES ENTRE 2014 ET 2017

Au cours de l'exercice, **plusieurs campagnes de mesures ont été menées sur des sites ateliers** avec pollution avérée des eaux souterraines et suite à l'accord des exploitants ou anciens exploitants en charge de la surveillance.

Tableau 1 : Synthèse des campagnes menées dans le cadre de l'exercice de comparaison (2014-2017)

	ICPE en activité	ICPE en activité	ICPE en activité (BIOdÉPOL)	ICPE en cessation d'activité	Site minier en cessation d'activité	ICPE (ISDnD) en activité
Typologie aquifère	Alluvial	Crayeux	Alluvial	Alluvial	Alluvial	Karstique
Principales substances recherchées (familles)	COHV	BTEX/HAP	BTEX/HAP	BTEX/HAP	ETM	Cl/ETM
Nombre de campagnes	3	4	4	3	3	3
Nombre de piézomètres	9	6	11	4	3	3

Le contexte hydrogéologique (cf. « typologie aquifère » dans le Tableau 1) le plus répandu dans le domaine des ICPE et des sites pollués est le contexte alluvial. Comme

³ Pour BIOdÉPOL, un autre laboratoire est intervenu en tant que prestataire car d'ores et déjà retenu pour le suivi réglementaire mené en parallèle au projet.

l'illustre la Figure 4, l'eau souterraine y circule⁴ dans un milieu sédimentaire, poreux, plus ou moins fracturé et plus ou moins perméable dont la partie saturée en eau constitue la nappe.

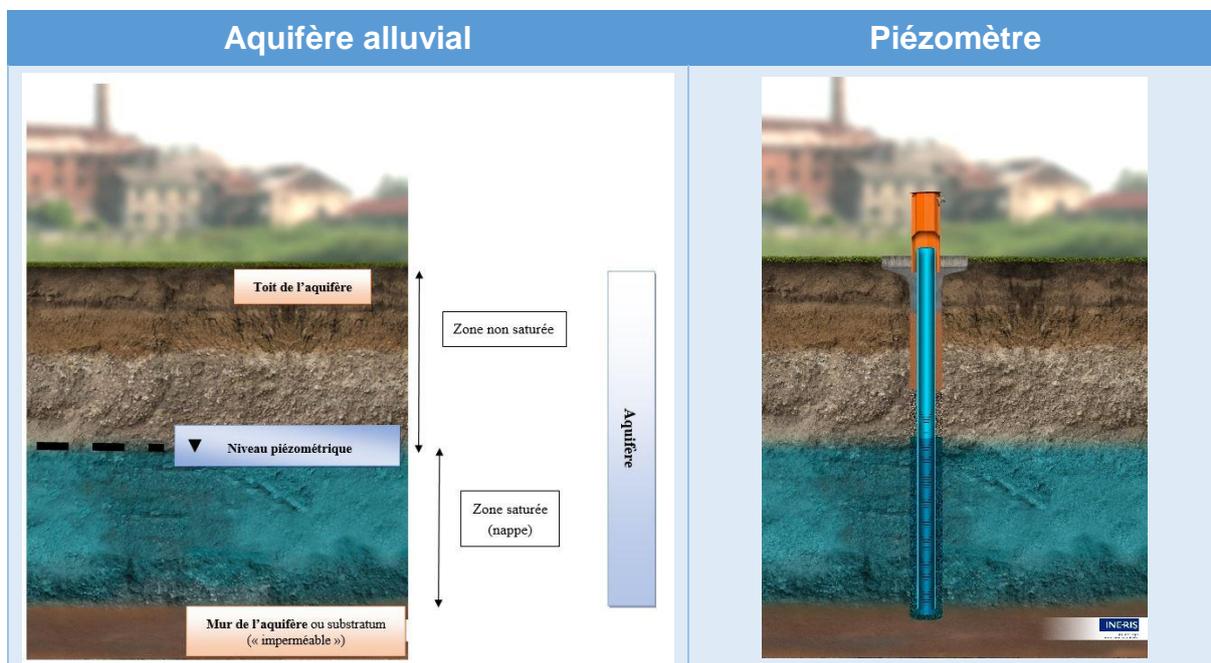


Figure 4 : Illustration d'un aquifère alluvial et d'un piézomètre permettant d'accéder à la nappe (la nappe correspond à la zone saturée en bleue)

Les substances étudiées dans le cadre de cet exercice ont été retenues au regard de la synthèse réalisée par le Ministère en charge de l'Environnement quant aux données issues de BASOL, avant 2013 (Base de données sur les sites et sols pollués ou potentiellement pollués appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif – extrait Figure 5).

⁴ Circulation de l'eau souterraine : de l'amont vers l'aval hydraulique ou autrement dit de l'altitude la plus élevée vers l'altitude la moins élevée du toit de la nappe (altitudes en NGF).

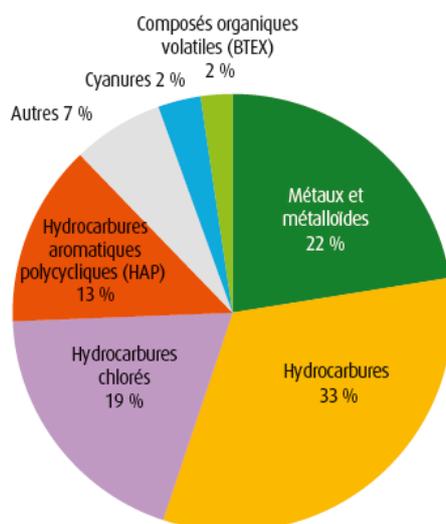


Figure 5 : Poids global des 7 familles de polluants identifiées dans les nappes des sites pollués (CGDD, 2013)

Pour aller plus loin :

CGDD (2013). « Études & documents (n°97). Basol : un panorama des sites et sols pollués, ou potentiellement pollués, nécessitant une action des pouvoirs publics ».

A noter qu'une réflexion a été menée en amont et initiée, testée, dans le cadre de BIODéPOL afin de limiter le risque de contamination croisée : remplacement du matériel à usage unique entre ouvrages et campagnes (bailer, tuyau, pompe Gigant, etc.), réalisation de blancs de matériel (de pompe) et de transport, etc.

L'annexe 2 fournit des informations complémentaires quant aux campagnes menées sur les sites retenus.

Une série d'essais a également été conduite **à l'échelle de la cuve expérimentale** « MAPI », implantée sur la plateforme ARDEVIE, opérée par l'INERIS à Aix-en-Provence (13).

En effet, depuis 2014, un pilote à l'échelle intermédiaire entre site réel et laboratoire a été finalisé et testé sur la plateforme expérimentale ARDEVIE (cf. Figure 6). Il s'agit d'un dispositif de 12 m³ illustré ci-dessous. Il constitue un modèle réduit de nappe alluviale permettant de simuler un écoulement permanent, laminaire, dans des conditions répondant à l'application de la Loi de Darcy et également de recréer un panache de pollution en conditions mieux maîtrisées qu'à l'échelle réelle (en particulier : gradient hydraulique, conditions aux limites, lithologie du milieu).

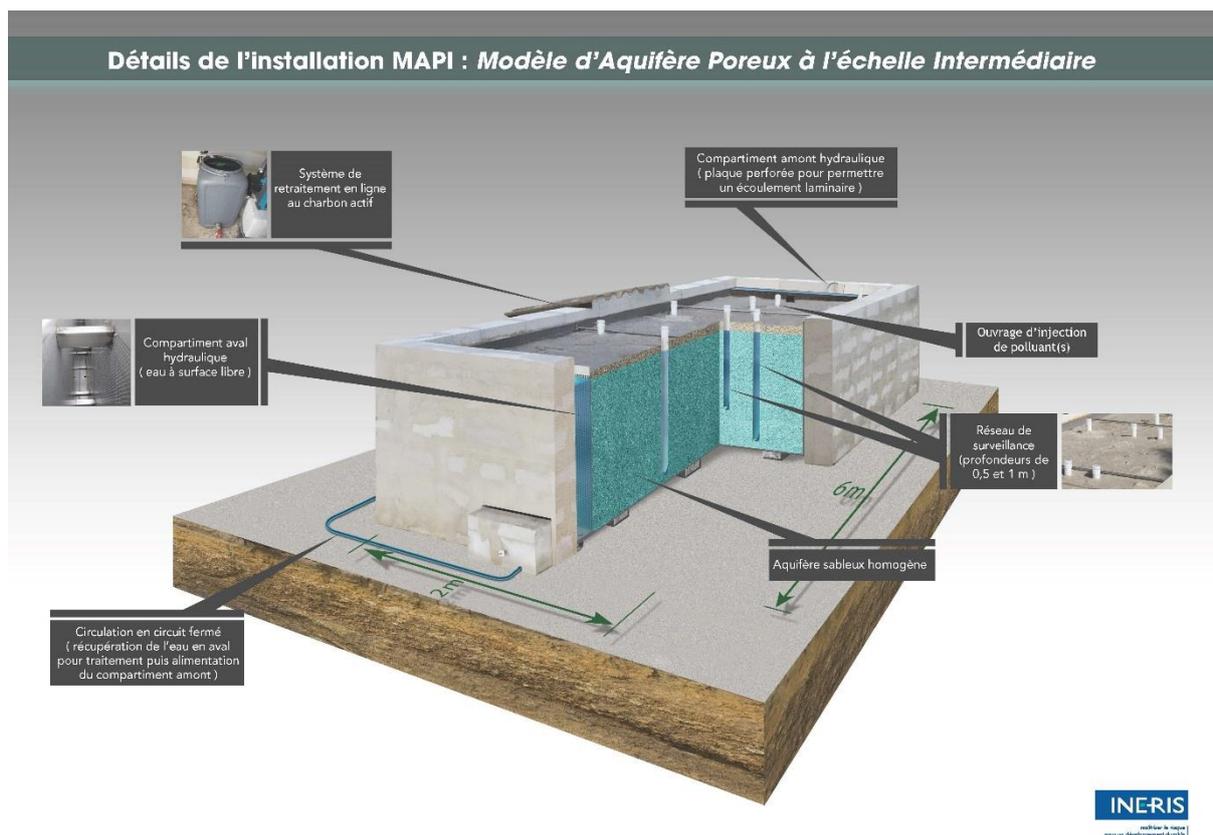


Figure 6 : Illustration de la cuve expérimentale MAPI (Modèle d'Aquifère Poreux à l'échelle Intermédiaire, ARDEVIE, Aix-en-Provence)

L'annexe 3 fournit des informations sur les essais menés dans la cuve expérimentale.

L'ensemble des résultats (concentrations mesurées à l'échelle de sites pollués et de la cuve) a été intégré à une base de données créée spécifiquement afin d'assurer la conservation des concentrations et d'associer des informations indispensables à l'interprétation des valeurs obtenues (épaisseur de la nappe, niveau échantillonné, réalisation d'une filtration ou pas, etc.). Une capture d'écran de cette base est fournie ci-après à titre informatif (cf. Figure 7).

Nom de l'échantillon	Outils	Ouvrage	Niveau	Date	Site Atelier	Typologie aquifère	Paramètres	Famille des composés	Concentration	LQ	Incertitude	Puissance nappe(recoupée par Pz)
Pz2-00-0416-MP1-ApP	MP1-ApP	Pz2	0	13/04/2016	ICPE en activité	Crayeux	Benzène	BTEX	71,4	0,5	0,4	9
Pz2-00-0416-PP36-ApP	PP36-LF-ApP	Pz2	0	13/04/2016	ICPE en activité	Crayeux	Benzène	BTEX	62,6	0,5	0,4	9
Pz2-00-1016-MP1-ApP	MP1-ApP	Pz2	0	25/10/2016	ICPE en activité	Crayeux	Benzène	BTEX	39,9	0,5	0,4	8
Pz2-00-1016-PP36-ApP	PP36-LF-ApP	Pz2	0	25/10/2016	ICPE en activité	Crayeux	Benzène	BTEX	36,2	0,5	0,4	8
Pz2-00-1016-MP1-AvP	MP1-AvP	Pz2	0	25/10/2016	ICPE en activité	Crayeux	Benzène	BTEX	34,8	0,5	0,4	8
Pz2-00-1017-MP1-AvP	MP1-AvP	Pz2	0	10/10/2017	ICPE en activité	Crayeux	Benzène	BTEX	25,9	0,5	0,4	6,5
Pz2-00-1017-MP1-ApP	MP1-ApP	Pz2	0	10/10/2017	ICPE en activité	Crayeux	Benzène	BTEX	28,4	0,5	0,4	6,5
Pz2-00-1017-PP36-ApP	PP36-LF-ApP	Pz2	0	10/10/2017	ICPE en activité	Crayeux	Benzène	BTEX	24,9	0,5	0,4	6,5
P5-00-0317-PP36-LF-APP	PP36-LF-ApP	P5	0	28/03/2017	ICPE en cessation d'activité	Alluvial	Benzène	BTEX	1,98	0,5	0,4	4,9
P5-00-0317-PP36-LF-AVP	PP36-LF-AvP	P5	0	28/03/2017	ICPE en cessation d'activité	Alluvial	Benzène	BTEX	1,82	0,5	0,4	4,9
P5-00-0317-BL-AVP	Bailer-AvP	P5	0	28/03/2017	ICPE en cessation d'activité	Alluvial	Benzène	BTEX	3,42	0,5	0,4	4,9
P5-00-0317-BL-APP	Bailer-ApP	P5	0	28/03/2017	ICPE en cessation d'activité	Alluvial	Benzène	BTEX	1,57	0,5	0,4	4,9
P5-00-0317-PP36-LF-Rpa	PP36-LF-RpP	P5	0	29/03/2017	ICPE en cessation d'activité	Alluvial	Benzène	BTEX	1,81	0,5	0,4	4,9
P5-00-0317-PP36-LF-Rpb	PP36-LF-RpP	P5	0	29/03/2017	ICPE en cessation d'activité	Alluvial	Benzène	BTEX	1,72	0,5	0,4	4,9
P5-00-0317-PP36-LF-Rpc	PP36-LF-RpP	P5	0	29/03/2017	ICPE en cessation d'activité	Alluvial	Benzène	BTEX	1,67	0,5	0,4	4,9
P5-00-0317-PP36-LF-Rpd	PP36-LF-RpP	P5	0	29/03/2017	ICPE en cessation d'activité	Alluvial	Benzène	BTEX	1,73	0,5	0,4	4,9
P5-00-0317-BI-Rp	Bailer-RpP	P5	0	29/03/2017	ICPE en cessation d'activité	Alluvial	Benzène	BTEX	1,58	0,5	0,4	4,9
P5-00-0317-G-Rp	Gigant	P5	0	29/03/2017	ICPE en cessation d'activité	Alluvial	Benzène	BTEX	1,49	0,5	0,4	4,9
P5-00-0317-PER-RP	Péristaltique	P5	0	29/03/2017	ICPE en cessation d'activité	Alluvial	Benzène	BTEX	1,79	0,5	0,4	4,9
P5-02-0317-PACKER	Pompe pneumatique à vessie (Packers)	P5	2	30/03/2017	ICPE en cessation d'activité	Alluvial	Benzène	BTEX	1	0,5	0,4	4,9
P5-02-0317-PP36-LFB	PP36-LF	P5	2	30/03/2017	ICPE en cessation d'activité	Alluvial	Benzène	BTEX	0,65	0,5	0,4	4,9
P5-01-0317-PP36-LFD	PP36-LF	P5	1	30/03/2017	ICPE en cessation d'activité	Alluvial	Benzène	BTEX	1,65	0,5	0,4	4,9
P5-01-0317-PP36-LFA	PP36-LF	P5	1	30/03/2017	ICPE en cessation d'activité	Alluvial	Benzène	BTEX	1,53	0,5	0,4	4,9
P5-03-0317-PP36-LFD	PP36-LF	P5	3	30/03/2017	ICPE en cessation d'activité	Alluvial	Benzène	BTEX	0,94	0,5	0,4	4,9
P5-02-0317-PP36-LFC	PP36-LF	P5	2	30/03/2017	ICPE en cessation d'activité	Alluvial	Benzène	BTEX	0,66	0,5	0,4	4,9
P5-03-0317-PP36-LFA	PP36-LF	P5	3	30/03/2017	ICPE en cessation d'activité	Alluvial	Benzène	BTEX	2,09	0,5	0,4	4,9
P5-03-0317-PP36-LFB	PP36-LF	P5	3	30/03/2017	ICPE en cessation d'activité	Alluvial	Benzène	BTEX	1,61	0,5	0,4	4,9
P5-03-0317-PACKER	Pompe pneumatique à vessie (Packers)	P5	3	30/03/2017	ICPE en cessation d'activité	Alluvial	Benzène	BTEX	0,94	0,5	0,4	4,9
P5-01-0317-PP36-LFC	PP36-LF	P5	1	30/03/2017	ICPE en cessation d'activité	Alluvial	Benzène	BTEX	2,85	0,5	0,4	4,9
P5-01-0317-PP36-LFB	PP36-LF	P5	1	30/03/2017	ICPE en cessation d'activité	Alluvial	Benzène	BTEX	3,3	0,5	0,4	4,9
P5-01-0317-PACKER	Pompe pneumatique à vessie (Packers)	P5	1	30/03/2017	ICPE en cessation d'activité	Alluvial	Benzène	BTEX	3,7	0,5	0,4	4,9
P5-03-0317-PP36-LFC	PP36-LF	P5	3	30/03/2017	ICPE en cessation d'activité	Alluvial	Benzène	BTEX	1,54	0,5	0,4	4,9
P5-02-0317-PP36-LFA	PP36-LF	P5	2	30/03/2017	ICPE en cessation d'activité	Alluvial	Benzène	BTEX	1,54	0,5	0,4	4,9
P5-02-0317-PP36-LFD	PP36-LF	P5	2	30/03/2017	ICPE en cessation d'activité	Alluvial	Benzène	BTEX	1,27	0,5	0,4	4,9
P5-00-0616-BI-AvP	Bailer-AvP	P5	0	28/06/2016	ICPE en cessation d'activité	Alluvial	Benzène	BTEX	4,13	0,5	0,4	5,9
P5-00-0616-BI-ApP	Bailer-ApP	P5	0	28/06/2016	ICPE en cessation d'activité	Alluvial	Benzène	BTEX	3,24	0,5	0,4	5,9
P5-00-0616-PP36-LF-AvP	PP36-LF-AvP	P5	0	28/06/2016	ICPE en cessation d'activité	Alluvial	Benzène	BTEX	3,93	0,5	0,4	5,9
P5-00-0616-PP36-LF-ApP	PP36-LF-ApP	P5	0	28/06/2016	ICPE en cessation d'activité	Alluvial	Benzène	BTEX	3,11	0,5	0,4	5,9
P5-00-0616-BI-Rp	Bailer-RpP	P5	0	29/06/2016	ICPE en cessation d'activité	Alluvial	Benzène	BTEX	4,79	0,5	0,4	5,9
P5-00-0616-G-Rp	Gigant	P5	0	29/06/2016	ICPE en cessation d'activité	Alluvial	Benzène	BTEX	3,59	0,5	0,4	5,9
P5-00-0616-PP36-LF-Rpa	PP36-LF-RpP	P5	0	29/06/2016	ICPE en cessation d'activité	Alluvial	Benzène	BTEX	3,53	0,5	0,4	5,9
P5-00-0616-PP36-LF-Rpb	PP36-LF-RpP	P5	0	29/06/2016	ICPE en cessation d'activité	Alluvial	Benzène	BTEX	2,67	0,5	0,4	5,9
P5-00-0616-PP36-LF-Rpc	PP36-LF-RpP	P5	0	29/06/2016	ICPE en cessation d'activité	Alluvial	Benzène	BTEX	3,19	0,5	0,4	5,9
P5-00-0616-PP36-LF-Rpd	PP36-LF-RpP	P5	0	29/06/2016	ICPE en cessation d'activité	Alluvial	Benzène	BTEX	3,42	0,5	0,4	5,9
P5-01-0616-PP36-LF	PP36-LF	P5	1	30/06/2016	ICPE en cessation d'activité	Alluvial	Benzène	BTEX	4,68	0,5	0,4	5,9
P5-02-0616-PP36-LF	PP36-LF	P5	2	30/06/2016	ICPE en cessation d'activité	Alluvial	Benzène	BTEX	3,32	0,5	0,4	5,9
P5-03-0616-PP36-LF	PP36-LF	P5	3	30/06/2016	ICPE en cessation d'activité	Alluvial	Benzène	BTEX	3,48	0,5	0,4	5,9

Figure 7 : Base de données mise en place par l'INERIS pour gérer les données et informations acquises lors des campagnes

4. MODALITES D'EXPLOITATION QUALITATIVE ET QUANTITATIVE POUR L'OBJECTIF DE COMPARAISON

L'exploitation des résultats repose sur deux approches :

- une approche des tendances par lecture graphique, en intégrant les incertitudes fournies par le laboratoire d'analyses ;
- une approche statistique, en présence d'un nombre suffisant de données, permettant d'évaluer le caractère significatif d'une tendance observée.

Les résultats sont tous présentés par la suite sous forme graphique, dont un exemple type est donné à la Figure 8 (exemple lié à la comparaison de dispositifs : bailer, pompe immergée, etc.).

Les caractéristiques du graphique sont les suivantes :

- en abscisse : nom du piézomètre pour lequel les prélèvements ont été effectués ;
- en ordonnée : concentration de la substance X ;
- en légende, l'ensemble des dispositifs testés.

Ecart-type : les écarts-types sont calculés à partir des incertitudes fournies par le laboratoire (pourcentage multiplié par la concentration donnée par le laboratoire pour la substance X).

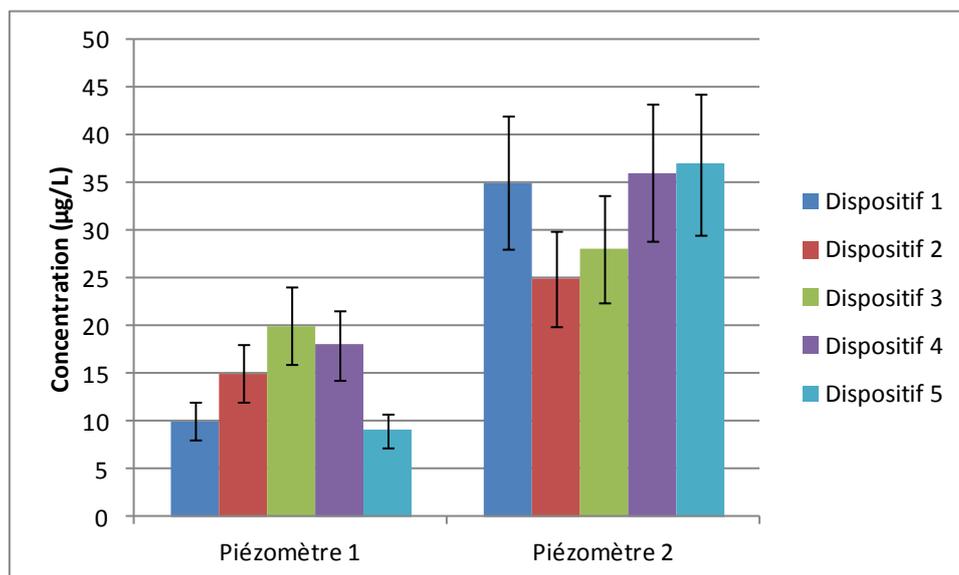


Figure 8 : Présentation graphique type pour la comparaison (recherche de la substance X à partir d'échantillons obtenus sur 2 piézomètres et 5 dispositifs)

Afin d'étudier la relation entre une variable quantitative (concentration) et qualitative (purge, outil, etc.), l'approche statistique s'est appuyée sur une comparaison de moyennes entre différents échantillons. Deux situations sont à distinguer :

- la comparaison entre deux échantillons : le test t de Student a été utilisé ;
- la comparaison de trois échantillons ou plus : l'analyse de variance (ANOVA) a été effectuée. L'ANOVA est une généralisation du test de Student à plus de deux groupes⁵.

A la suite de l'analyse de variance, si l'hypothèse nulle d'égalité des moyennes était rejetée, un test « post-hoc » a été effectué, celui-ci permettant de préciser quelles moyennes diffèrent entre elles. Dans les analyses menées, le test de comparaisons multiples de Tukey (à 5%) a été employé.

L'exploitation statistique a été effectuée avec le logiciel R.

Au regard des analyses conduites sur l'ensemble des données acquises, les seuls résultats présentés par la suite portent sur la question de la purge. En effet, les autres jeux de données se sont révélés insuffisants pour mener à terme l'approche statistique dans le cadre des autres questions.

⁵ Avec les hypothèses suivantes : l'hypothèse nulle étant que tous les échantillons ont la même moyenne et l'hypothèse alternative se traduisant par le fait qu'au moins une moyenne est différente des autres.

5. PRESENTATION DES RESULTATS ET DES ENSEIGNEMENTS

Les questions présentées à la section 2.1 ont été reformulées comme indiqué en Figure 9. Ainsi, les travaux menés ont porté sur :

- l'influence de la purge sur la représentativité des résultats ?
- l'influence de la filtration et de la décantation sur la représentativité des résultats ?
- l'influence de la volatilisation sur la représentativité des résultats ?
- l'influence de la profondeur et du dispositif sur la représentativité des résultats ?

Les informations acquises concernant chacune de ces 4 principales questions sont présentées par la suite dans des parties distinctes. Chaque partie comprend :

- un rappel quant aux principales recommandations issues de documents normatifs, de guides techniques ;
- un point sur l'état de l'art, des retours d'expériences conduisant à s'interroger sur ces recommandations ;
- les données acquises par l'INERIS (2014-2017) et exploitées pour traiter cette question ;
- une description des campagnes menées (échelle sites pollués voire cuve expérimentale) ;
- les résultats avec des illustrations de variabilité observée voire la mise en exergue de tendances permettant d'apporter des éléments de réflexion vis-à-vis de la question posée.

Remarque : Les références complètes des éléments cités au sein de chaque partie sont fournies après la conclusion spécifique à la question traitée.

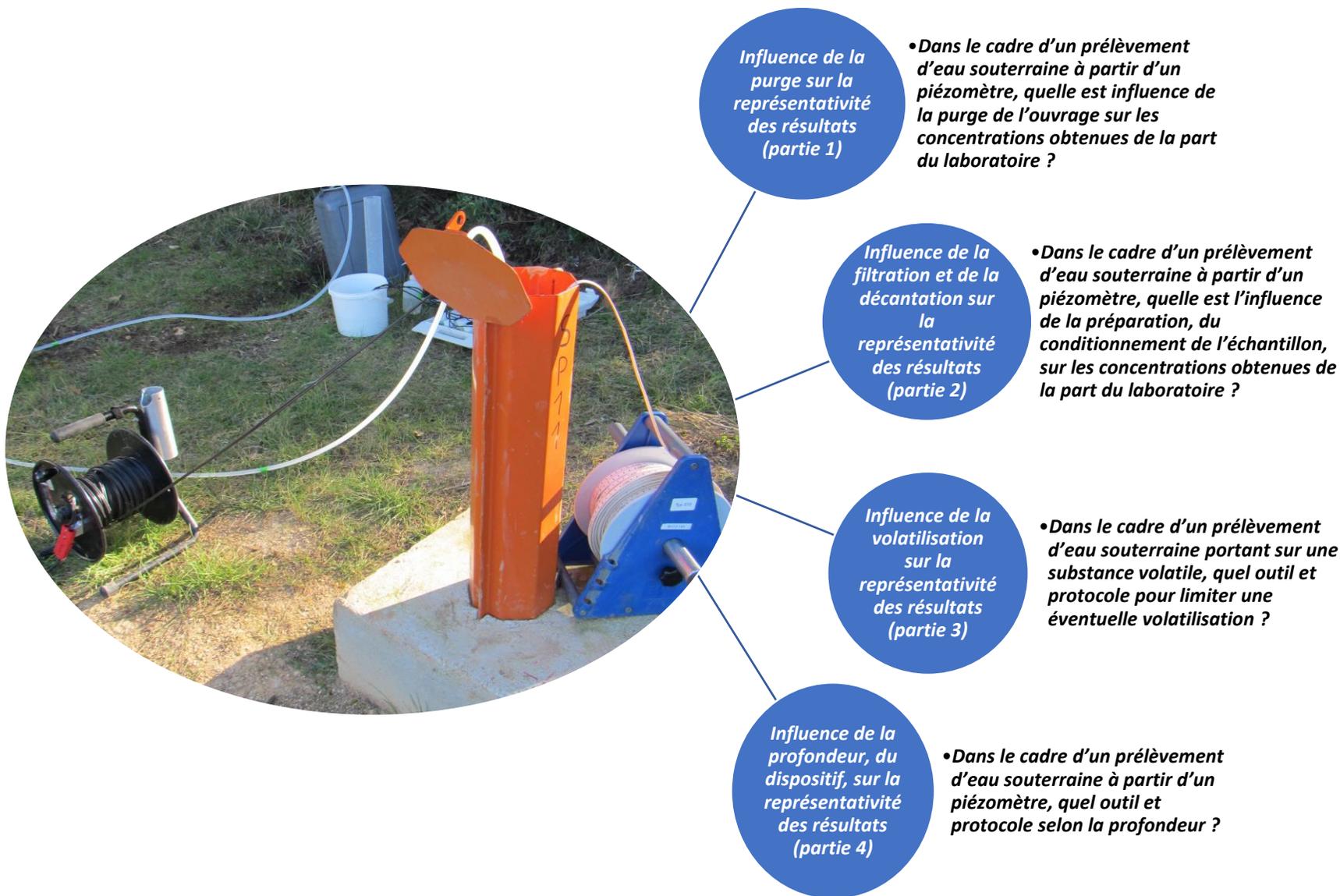
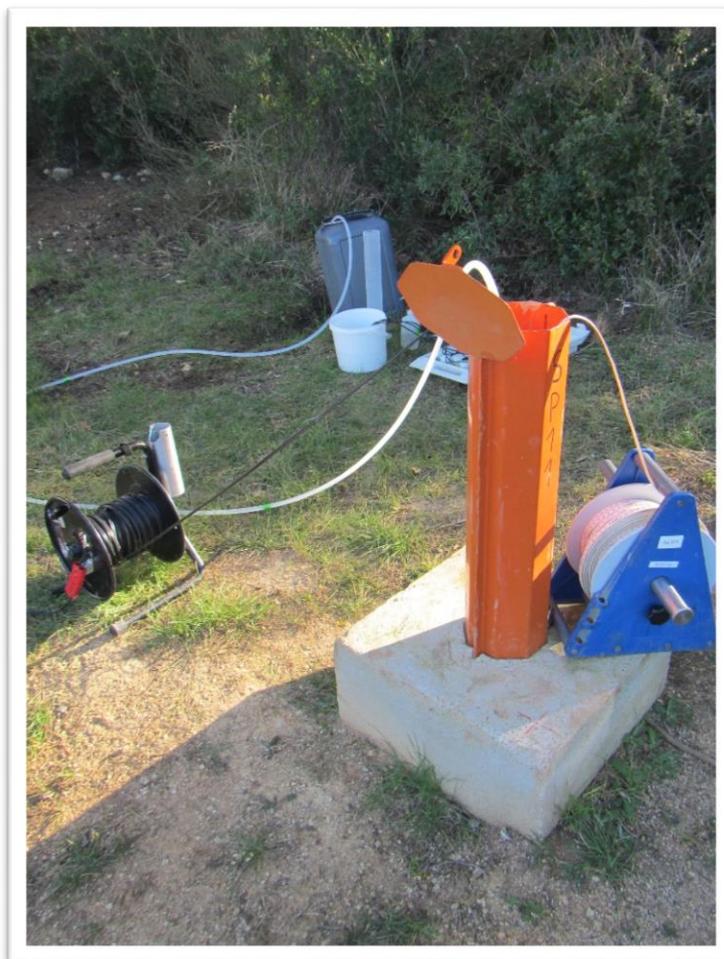


Figure 9 : Synthèse des questions traitées par l'INERIS

Partie 1

INFLUENCE DE LA PURGE

Dans le cadre d'un prélèvement d'eau souterraine à partir d'un piézomètre, quelle est influence de la purge de l'ouvrage sur les concentrations obtenues de la part du laboratoire ?



Principales recommandations actuelles :

- la Norme AFNOR NF X 31-615 et la Norme ISO 5667-11 recommandent la réalisation d'une purge (pour renouveler l'eau dans le tubage) afin de disposer d'un échantillon représentatif. Les exceptions suivantes sont mentionnées : ouvrage peu productif (dénoyage), ouvrage très productif (renouvellement suffisant), utilisation d'échantillonneurs passifs. Il est également mentionné qu'un protocole de purge inadapté peut conduire à la migration voire à la perte de certaines substances volatiles.
- dans l'ensemble, les documents techniques consultés reprennent cette recommandation avec parfois des variations concernant les critères à retenir pour mener à bien la purge : le volume à purger et le débit associé et/ou la stabilisation des paramètres physico-chimiques (BRGM, 2009 ; Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 2011 ; EPA 2013).



Depuis le début des années 2000, des articles scientifiques et des guides techniques mettent en doute la nécessité de réaliser une purge « conventionnelle » (avec renouvellement de plusieurs volumes de puits et/ou stabilisation des paramètres physico-chimiques). En effet, certains documents recommandent :

- l'absence de purge avant prélèvement (API, 2000) ;
- une purge à faible débit, inférieur à 1 L/mn (Kaminski, 2010) ;
- le recours à un échantillonneur passif, tel que le PDB (Vroblesky et Campbell, 2001 ; ADEME, 2014).

Pour aller plus loin :

En 2005, le besoin de purger ou non l'ouvrage avant prélèvement d'eau souterraine a fait l'objet d'une synthèse dans une publication intitulée « Ground Water Purging and Sampling Methods : History vs. Hysteria » (Barcelona et al., 2005)

Le document de l'American Petroleum Institute précité (API, 2000), dresse une synthèse reprise ci-après au Tableau 2. Celle-ci porte sur des sites pollués par des hydrocarbures (BTEX, MTBE). Au regard des retours d'expériences étudiés, il est recommandé de considérer l'absence de purge dans le cadre d'un suivi de substances hydrocarbures portant sur le long terme et sous certaines conditions (en particulier en l'absence de phase flottante, pour une nappe libre).

Tableau 2 : Différents protocoles existants concernant la purge avant le prélèvement (adapté d'après API, 2000)

	Démarche	Application	Avantages	Inconvénients
Méthode Conventiennelle	Renouvellement de plusieurs volumes de puits (variable selon les sources bibliographiques, de l'ordre de 3 à 5 fois), et/ou stabilisation des principaux paramètres physico-chimiques (température, conductivité, pH)	Réalisable sur tous les sites, à ce jour démarche la plus suivie (notamment en France)	Acceptée voire encouragée par les donneurs d'ordre et l'administration, ne nécessite pas de matériel spécifique	Plusieurs matériels hormis le bailer (non adapté) peuvent être employés, mais ils peuvent donner des résultats différents (notamment selon le rabattement de la nappe, l'agitation, l'aération, etc.). Les eaux de purge doivent être gérées
Absence de purge	L'absence de purge conduit à utiliser un dispositif de prélèvement (bailer, pompe immergée) avec précaution afin de ne pas perturber la colonne d'eau	L'absence de purge est adaptée au milieu poreux, à une nappe libre, aux BTEX, MTBE, à partir de piézomètres dont la crépine permet de valider l'absence de phase pure (notamment LNAPL avec phase flottante)	Simple, rapide et peu coûteuse (plus de temps de purge, de gestion des eaux de purge) cette méthode évite également la variabilité des résultats induite par la purge (cf. inconvénients de la méthode conventionnelle)	Non acceptée par les donneurs d'ordre et l'administration dans le cadre de la gestion d'une pollution, non testée sur nappe captive, pour milieu fissuré, fracturé, inadaptée en présence de phase pure (notamment LNAPL, phase flottante)
Purge à faible débit (Low Flow)	Le débit inférieur à 1 L/mn doit être suffisant au regard de l'écoulement naturel en provenance de l'encaissant (voire compenser l'existence d'éventuels flux verticaux au sein de l'ouvrage). Le suivi de la stabilisation des principaux paramètres physico-chimiques est effectué	Applicable sur de nombreux sites	Un débit limité assure une faible turbidité de l'échantillon, et permet de suivre des paramètres sensibles tel que l'oxygène dissous (notamment dans le cadre de l'étude de l'atténuation naturelle). Temps de purge et volume à gérer sont fortement réduits	Certains outils ne sont pas recommandés (bailer, pompe péristaltique)

Plus récemment, un guide publié au Royaume-Uni par l'Agence de l'Environnement (EA, 2014) indique que le choix de purger ou non l'ouvrage dépend de plusieurs facteurs tels que les caractéristiques de l'aquifère et du piézomètre. Ce guide donne des exemples concernant l'influence de cette démarche sur les résultats obtenus (cf. Figure 10) : ces exemples montrent, dans un cas, une forte influence, non retrouvée dans un autre cas. A noter qu'aucun élément d'information n'est fourni concernant les protocoles de prélèvements.

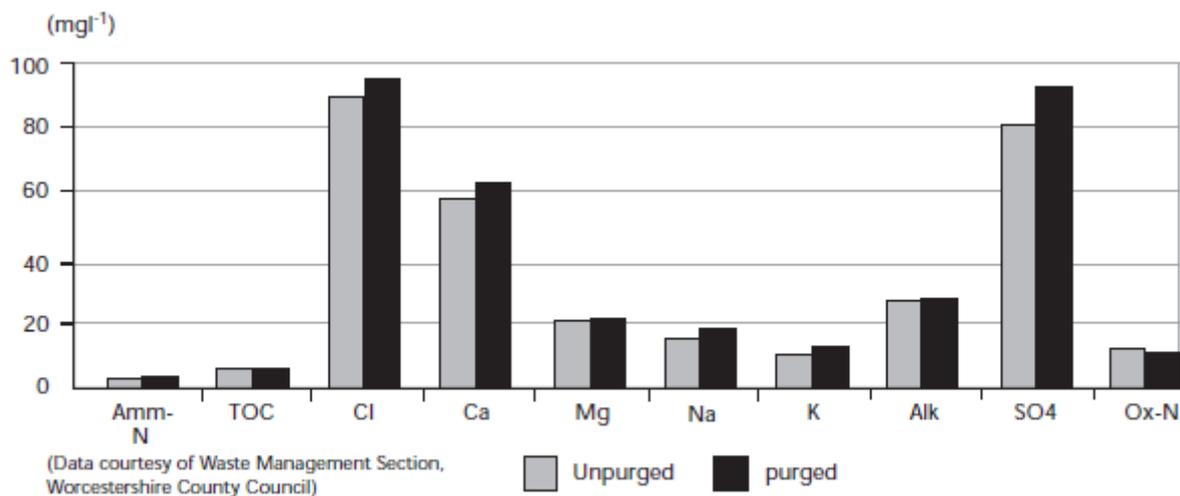
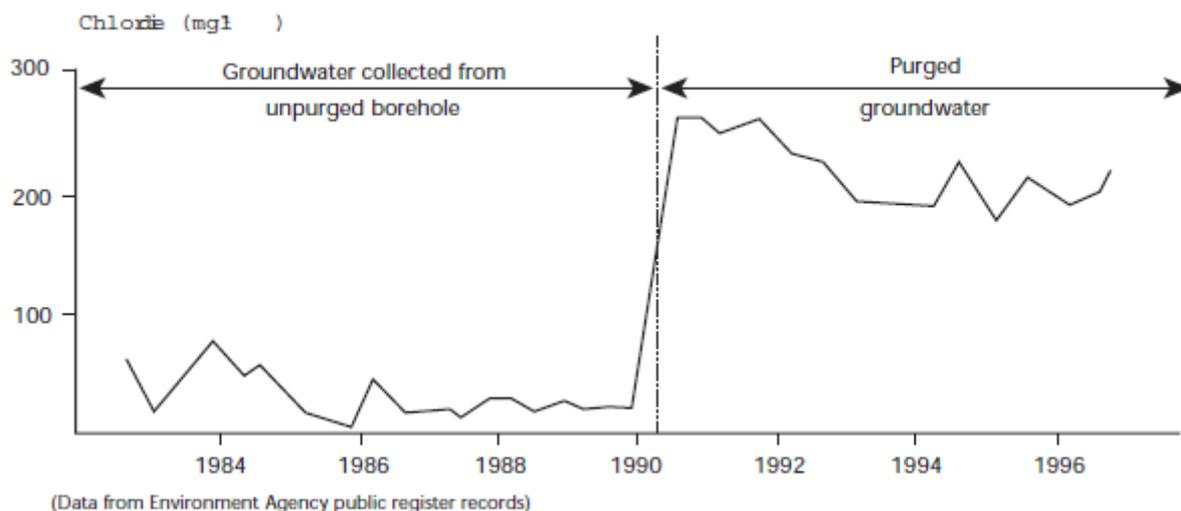


Figure 10 : Exemples de l'effet de la purge sur les résultats (cas de l'ion chlorure pour plusieurs campagnes et cas de différents paramètres, anions, cations majeurs, pour une même campagne. Source : page 108, EA 2014)

Une publication de 2015 conforte l'hypothèse selon laquelle dans certains contextes l'influence de la purge pourrait s'avérer limitée. En effet, Gomo et Vermeulen (2015) ont obtenu des concentrations similaires (pour les anions et cations majeurs) lors d'une campagne menée sur 15 piézomètres. Ils ont eu recours à l'analyse statistique (et au test ANOVA) pour conforter ce résultat. Ils en concluent que l'influence de la purge dépend du site et en premier lieu du contexte naturel.

Ces éléments conduisent à penser que **la purge n'est pas forcément une obligation de l'étape de prélèvement. Il s'agit plus d'un moyen destiné à obtenir un échantillon représentatif, qui peut ne pas être employé ou s'il l'est, qui doit être adapté au regard du contexte.** En effet, plusieurs inconvénients liés à la purge ont été démontrés au fil du temps dans divers contextes : le drainage de la pollution et/ou la volatilisation de certaines substances dans le cas d'un débit de purge élevé, la gestion d'un volume parfois significatif d'eau contaminée ou encore le risque de contamination croisée.

L'INERIS a donc intégré cette question dans le cadre de l'exercice de comparaison débuté en 2014 afin de mettre en œuvre une comparaison et une démonstration « robuste », considérant plusieurs :

- sites pollués (6 dans le cadre de cette question) ;
- piézomètres (ouvrages dédiés à une surveillance en cours, plus ou moins proches d'une source de pollution, il s'agit de piézomètres « complets », crépinés sur toute la colonne d'eau recoupée par le piézomètre) ;
- campagnes (2 à 4 selon le site) ;
- substances (avec des comportements différents : organiques, inorganiques, volatiles, non volatiles, etc.).

**Tableau 3 : Données exploitées pour évaluer l'influence de la purge
(cf. Exercice de comparaison, 2014-2017)**

	ICPE en activité	ICPE en activité	ICPE en activité (BIODéPOL)	ICPE en cessation d'activité	Site minier en cessation d'activité	ICPE (ISDnD) en activité
	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4	Site 5	Site 6
Typologie aquifère	Alluvial	Crayeux	Alluvial	Alluvial	Alluvial	Karstique
Principales substances recherchées (familles)	COHV	BTEX/HAP	BTEX/HAP	BTEX/HAP	ETM	CI-/ETM
Nombre de campagnes / question	2	3	2	3	3	3
Nombre d'ouvrages / question	3	2	4	3	3	2

Modes de purge :

Deux modes de purge sont possibles selon la norme AFNOR NF X 31-615 :

- *purge statique (le système de purge est fixe au sein de la colonne d'eau) ;*
- *purge dynamique (le système de purge est déplacé au sein de la colonne d'eau).*

Sur l'ensemble des campagnes menées entre 2014 et 2017 le choix a été fait d'effectuer une purge statique, considérant qu'il s'agit actuellement du mode le plus employé par les opérateurs de terrain.

Notations :

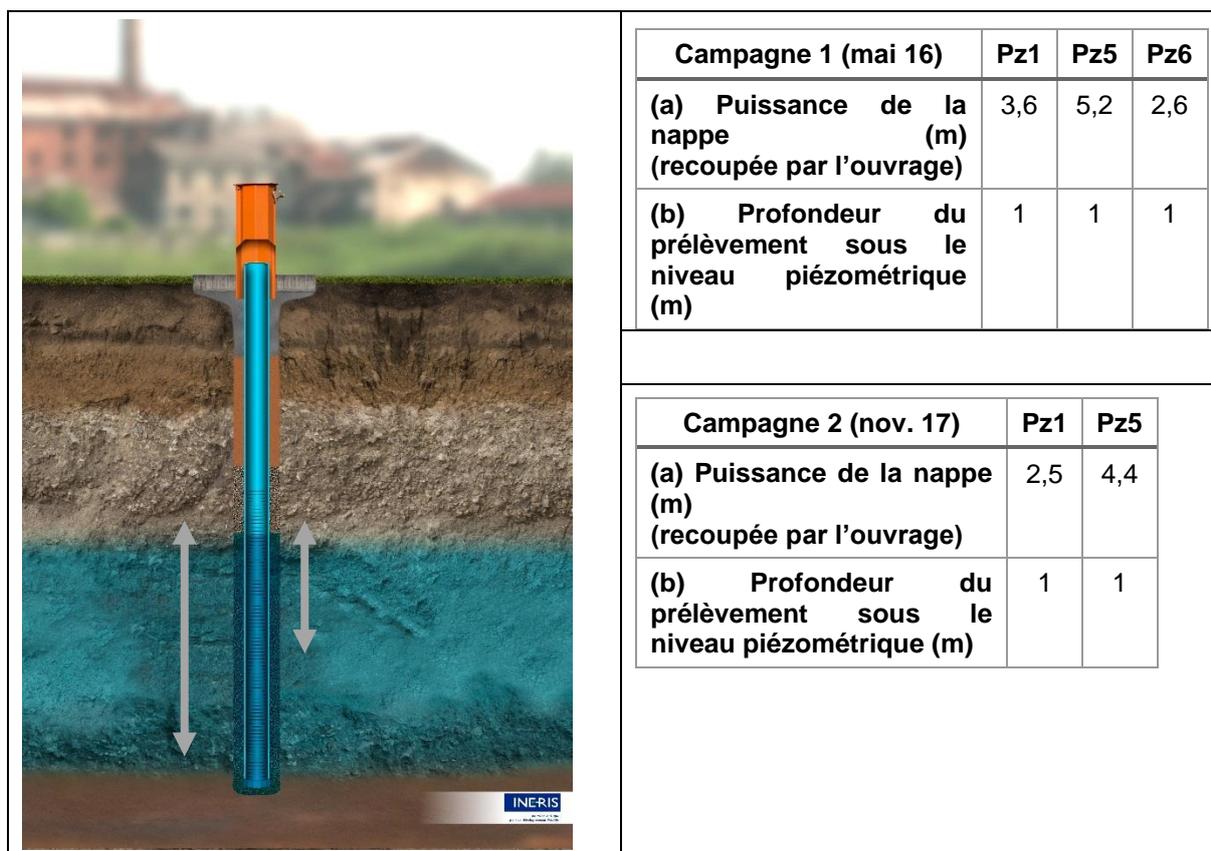
Dans la suite du document les notations suivantes sont employées :

- *AvP pour prélèvement Avant Purge ;*
- *ApP pour prélèvement après Purge (à l'issue de la purge) ;*
- *RpP pour prélèvement 24 h après Purge (après stabilisation).*

Site 1 - ICPE en activité

Protocole de prélèvement : utilisation d'un bailer puis de la pompe immergée PP36-LF (Low Flow) pour échantillonnage avant et après une purge. La purge a été réalisée à l'aide de la pompe PP36-LF, à la même profondeur que l'échantillonnage et pour un débit de l'ordre de 4 L/mn (critères d'arrêt : stabilisation des paramètres physico-chimiques et *a minima* 3 volume de puits).

Ci-dessous sont reportées sur l'illustration d'un piézomètre la puissance de la nappe (recoupée par l'ouvrage) et la profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique.



Résultats d'analyses : les concentrations présentées par la suite ont été déterminées avec une incertitude fournie par le laboratoire (EUROFINS) : Chloroforme 0,6 ; cis 1,2-Dichloroéthylène 0,4 ; Tétrachloroéthylène 0,45 ; Trichloroéthylène 0,4. Cette information est reportée sur les graphiques.

Dans les tableaux, le chiffre « 0 » correspond à « <LQ » (Limite de Quantification, également fournie par le laboratoire).

La Figure 11 illustre pour la première campagne et sur trois piézomètres la variabilité des résultats concernant un échantillonnage avant purge ou après purge.

Pz1 est un ouvrage à proximité de la source, Pz6 est en aval, dans le panache de pollution, et Pz5 est en bordure latérale de ce panache.

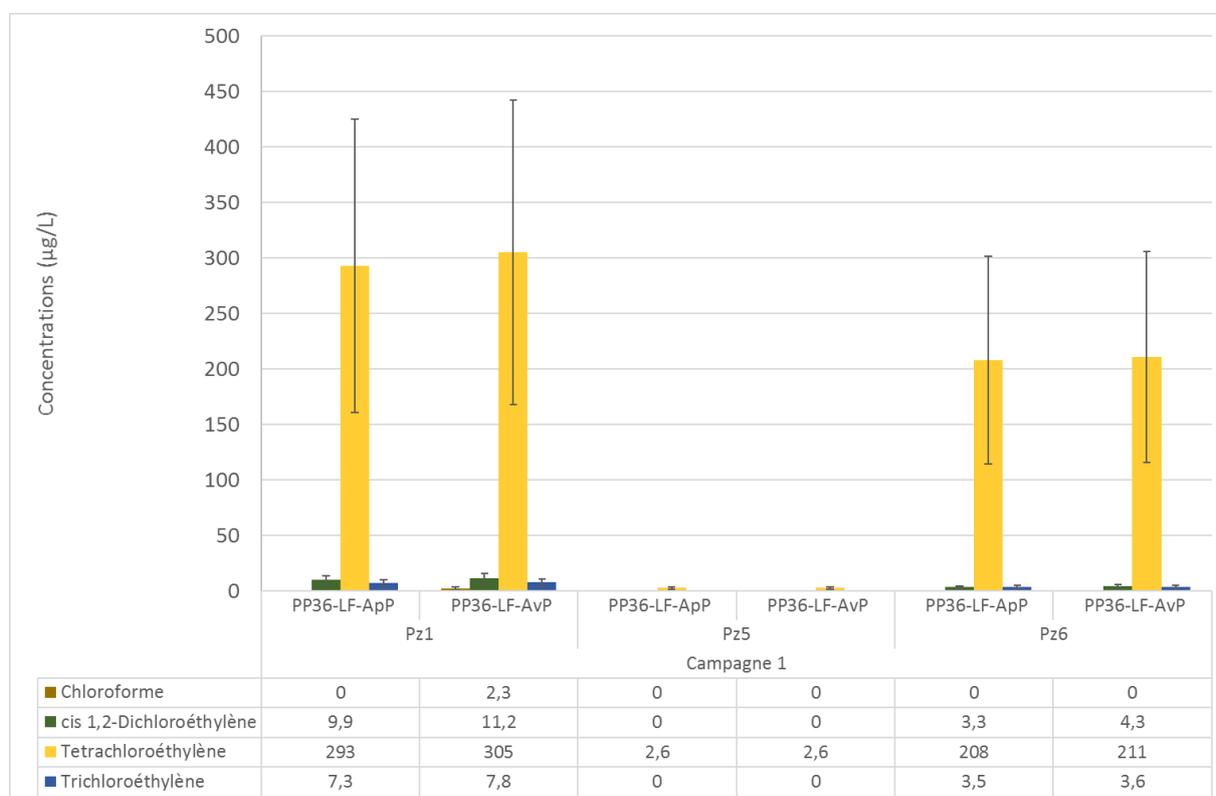


Figure 11 : Site 1 Influence de la purge – Concentrations en COHV sur 3 piézomètres et pour la première campagne (PP36-LF)

Avec la pompe immergée PP36-LF et pour une épaisseur de zone saturée variant de 2,6 m à 5,2 m selon l'ouvrage au cours de cette première campagne, les concentrations sont similaires avant (AvP) et après (ApP) purge pour les 4 substances pour lesquelles des valeurs supérieures à la LQ ont été fournies par le laboratoire.

Le chloroforme n'est observé qu'une seule fois et à une concentration de 2,3 µg/L, valeur proche de la LQ qui est de 2 µg/L.

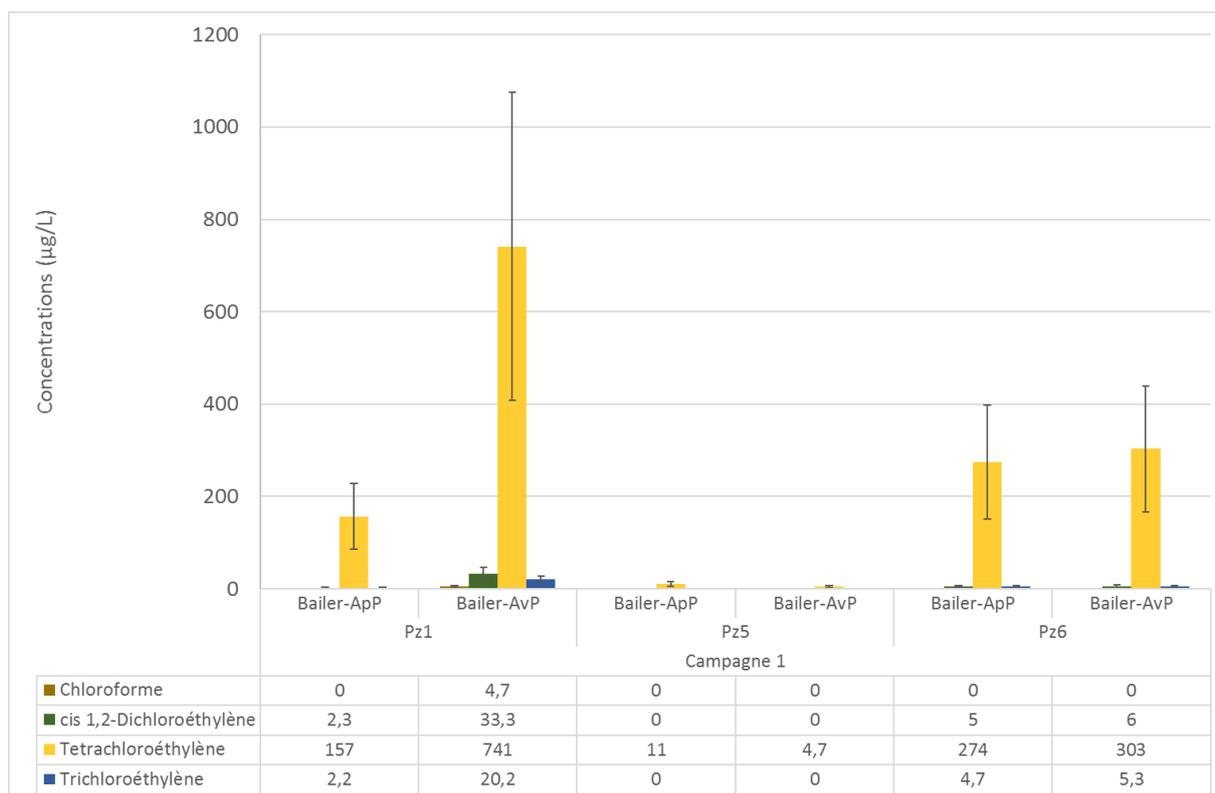


Figure 12 : Site 1 Influence de la purge – Concentrations en COHV sur 3 piézomètres et pour la première campagne (Bailer)

Concernant le bailer (ou préleveur à usage unique), les concentrations en Figure 12 sont de nouveau comparables en Pz5 et Pz6. Toutefois, en Pz1, l'ouvrage le plus proche de la zone source (source située à quelques mètres en amont), les résultats sont différents avant et après la purge. Cette différence s'observe pour les 4 substances, avec une valeur avant purge supérieure à celle déterminée après purge. A titre d'exemple, le tétrachloroéthylène (PCE) voit sa valeur passer de 741 µg/L à 157 µg/L ce qui est nettement supérieur à l'incertitude du laboratoire (ici de 45%).

Une faible irisation a été observée sur l'échantillon à l'issue du premier prélèvement au bailer, ce qui pourrait expliquer cette différence (AvP vs ApP). La purge qui a suivi aurait pu également drainer de la phase depuis la zone source toute proche et donner des concentrations comparables voire plus élevées. Il n'en est rien, le débit de purge de 4 L/mn ou la durée entre purge et prélèvement n'ont peut-être pas été suffisants.

La Figure 13 reprend ces résultats pour les deux dispositifs employés et pour ce qui concerne le Pz6.

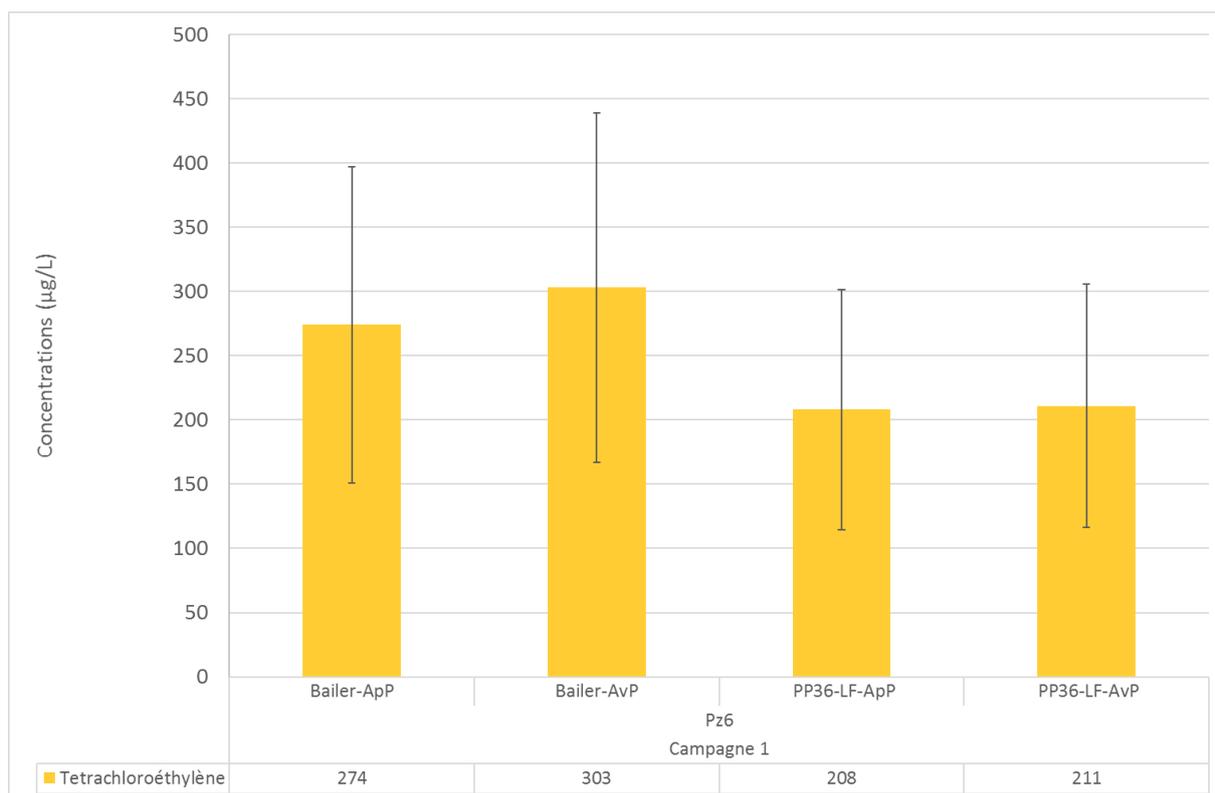


Figure 13 : Site 1 Influence de la purge – Concentrations en COHV sur 1 piézomètre pour la première campagne (Bailer et PP36-LF)

Une seconde campagne a été réalisée sur ce site (cf. Figure 14). A noter que pour cette seconde campagne, la puissance de la nappe était inférieure et que l’ouvrage Pz6 n’a pas pu être utilisé (bouché).

Pour Pz1, ouvrage proche de la zone source, les résultats des deux campagnes sont reportés ci-dessous. Cette fois-ci, l’observation du premier échantillon collecté n’a pas mis en évidence d’irisation comme lors de la première campagne.

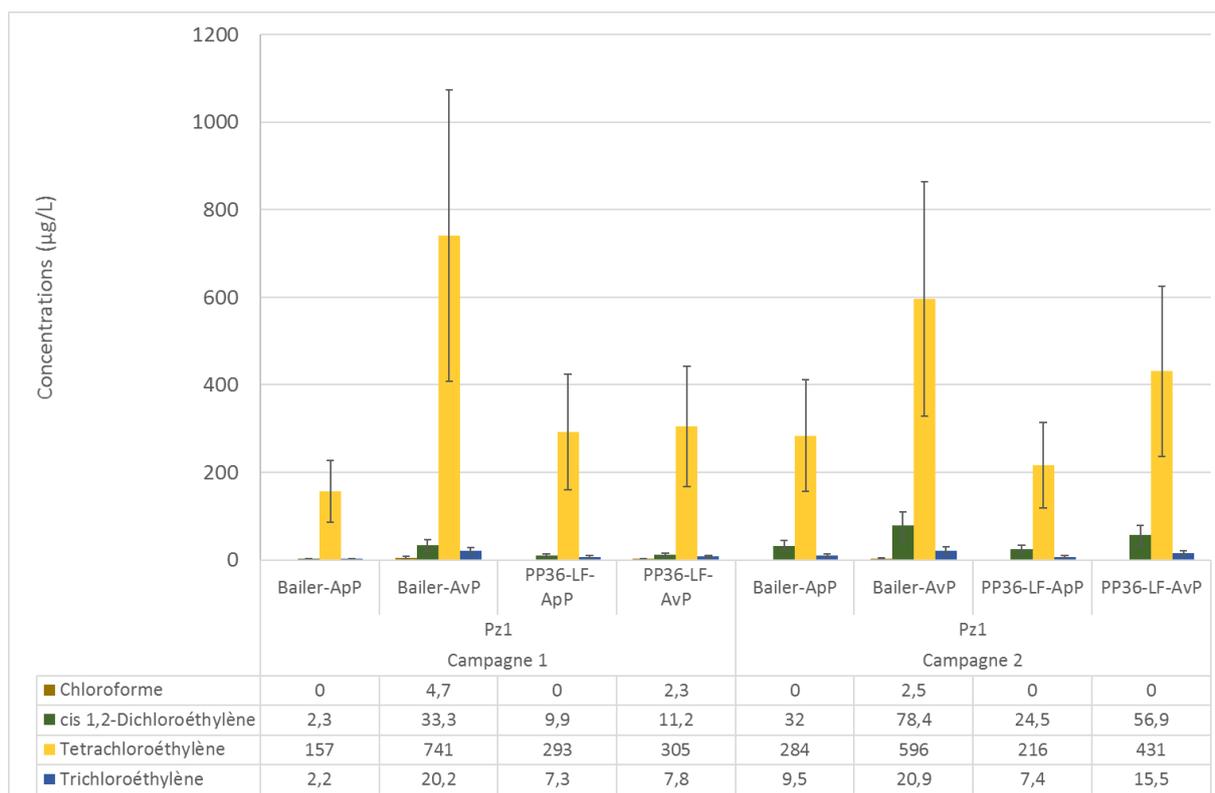


Figure 14 : Site 1 Influence de la purge – Concentrations en COHV sur 1 piézomètre et pour 2 campagnes (Bailer et PP36-LF)

Comme précédemment, considérant en particulier le tétrachloroéthylène, le bailer (premier outil employé) conduit à la variabilité la plus élevée entre concentrations déterminées avant purge et après purge. Par contre, lors de cette seconde campagne et contrairement à la première, le prélèvement à faible débit à l'aide d'une pompe immergée (PP36-LF) donne également des concentrations plus élevées avant purge (pour les 3 substances quantifiées).

Cette seconde campagne confirme donc que sur Pz1, proche de la source de pollution, les concentrations sont plus élevées avant purge qu'après purge.

A noter que Pz1 s'est dénoyé en fin de purge au cours des deux campagnes, le niveau de la nappe est rapidement revenu à l'équilibre, en moins de 5 mn, ce qui traduit une « bonne » perméabilité des terrains. Après purge, l'eau était beaucoup plus turbide et au cours de la seconde campagne la turbidité a pu être mesurée, elle est passée de 177 NTU en début de purge à 843 NTU en fin de purge.

Les résultats de ces deux campagnes portant sur des COHV migrant au sein d'une nappe alluviale sont similaires avant et après la purge sur deux des trois piézomètres utilisés (considérant l'incertitude analytique). Les données acquises sur le troisième ouvrage (Pz1) montrent toutefois l'influence de la purge à proximité de la zone source, en présence d'une phase pure (phase huileuse ou organique) ou d'un mélange (émulsion).

Site 2 - ICPE en activité

Protocole de prélèvement : utilisation d'une pompe immergée MP1 pour échantillonnage avant et après une purge. La purge a été réalisée à l'aide de la pompe MP1, à la même profondeur que l'échantillonnage et pour un débit de l'ordre de 8 L/mn (critères d'arrêt : stabilisation des paramètres physico-chimiques et *a minima* 3 volume de puits).

	Campagne 2 (oct. 16)		Pz2	Pz3
	(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)	8	8	
	(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)	6	6	
	Campagne 3 (avril 17)		Pz2	Pz3
	(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)	8,5	8,5	
	(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)	6,5	6,5	
Campagne 4 (oct. 17)		Pz2	Pz3	
(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)	6,5	6,5		
(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)	4,5	4,5		

Résultats d'analyses : les concentrations présentées par la suite ont été déterminées avec une incertitude fournie par le laboratoire (EUROFINS) : Benzène 0,5 ; Toluène 0,3 ; Ethylbenzène 0,55 ; Xylène (méta-, para-) 0,5 ; o-Xylène 0,5 ; HCT 0,2 et Naphtalène 0,4. Cette information est reportée sur les graphiques.

Au cours des deux premières campagnes menées dans l'optique de comparer l'influence de la purge (ici les campagnes 2 et 3 réalisées sur ce site), les résultats présentés en Figure 15 montrent des concentrations comparables quels que soient l'ouvrage, la substance ou le paramètre, et considérant les incertitudes données par le laboratoire.

Les deux ouvrages retenus, Pz2 et Pz3 permettent de considérer des gammes de concentrations différentes (Pz2 et Pz3 sont dans le panache de pollution).

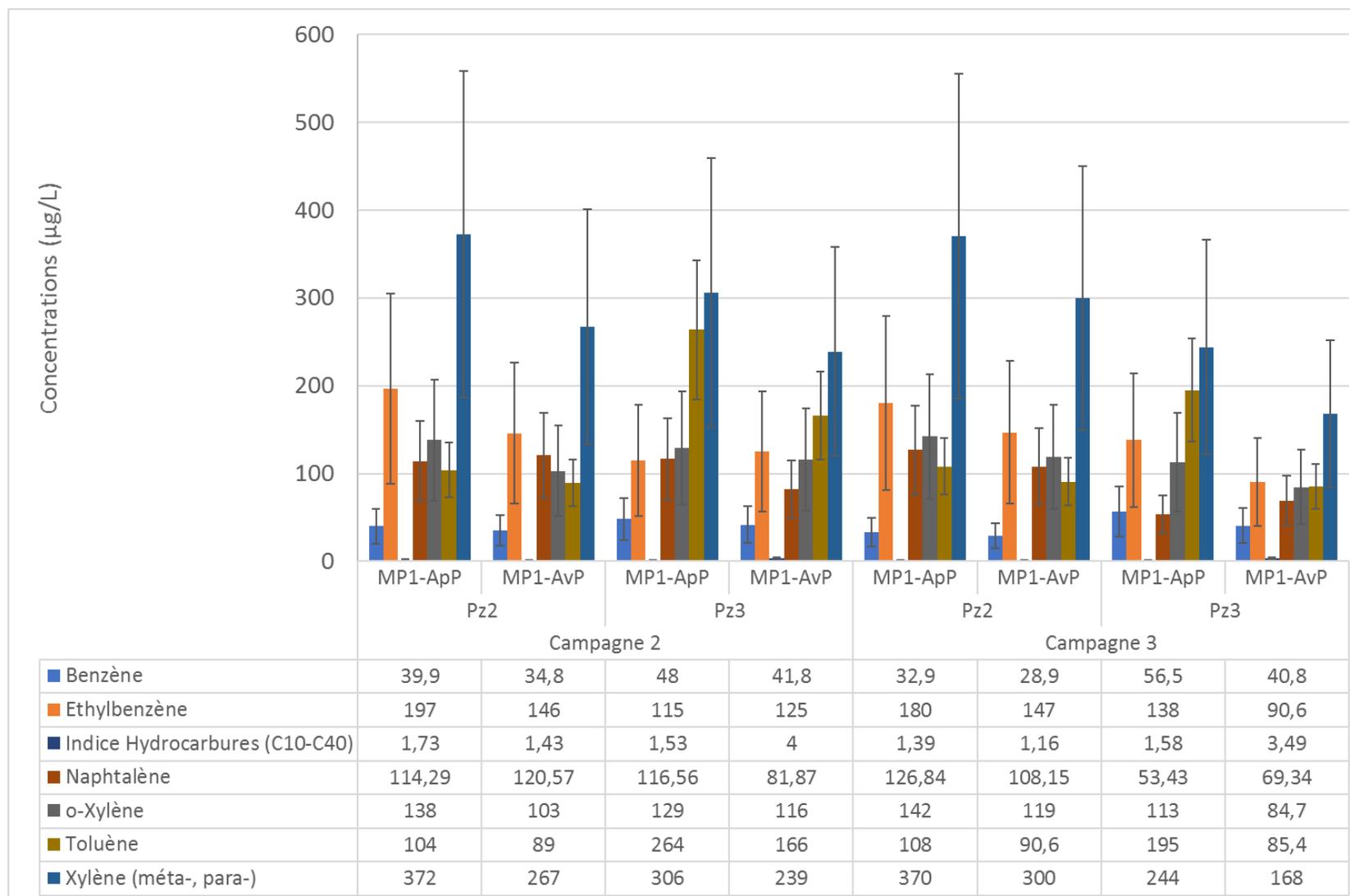


Figure 15 : Site 2 Influence de la purge – Concentrations en BTEX, Naphtalène et indice HCT sur 2 piézomètres et pour 2 campagnes (MP1)

La Figure 16 intègre les résultats obtenus lors d'une dernière campagne, exclusivement pour ce qui concerne le Pz2.

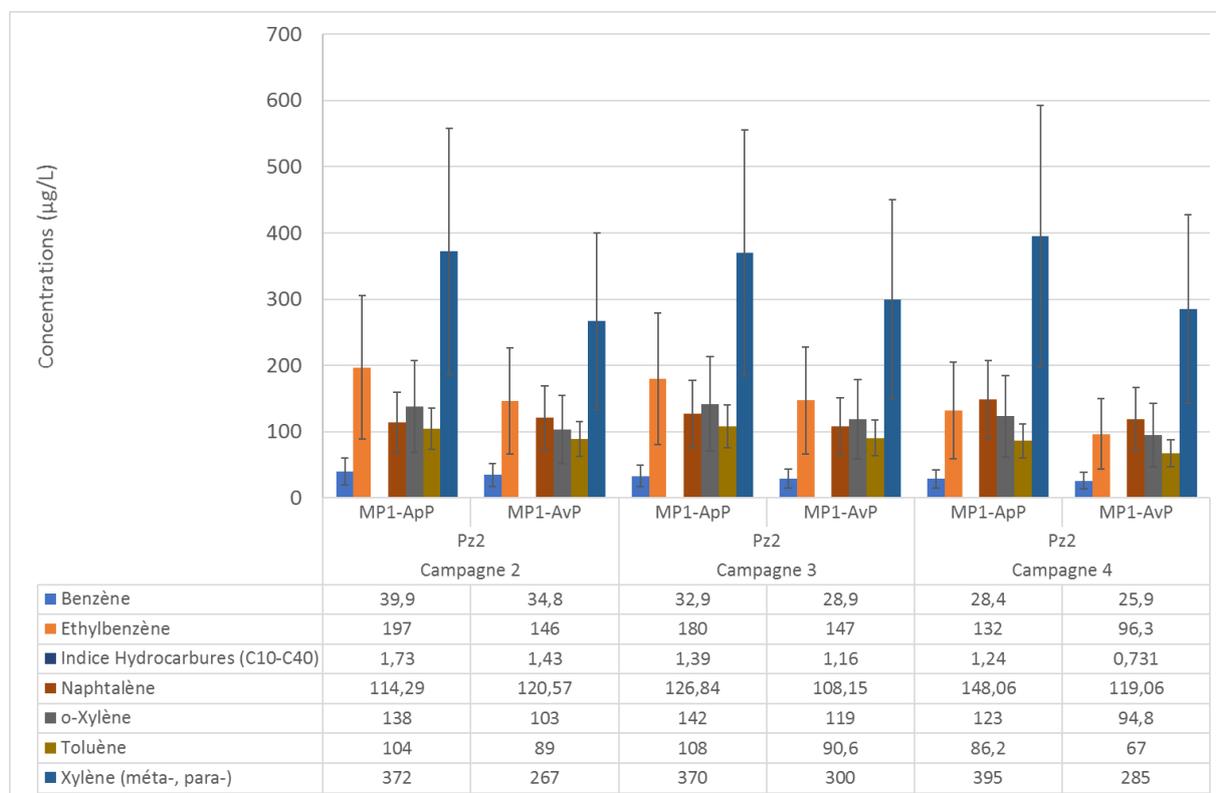


Figure 16 : Site 2 Influence de la purge – Concentrations en BTEX, Naphtalène et indice HCT sur 1 piézomètre et pour 3 campagnes (MP1)

La dernière campagne effectuée conduit au même constat en Pz2 (cf. Figure 17), les concentrations avant et après la purge sont comparables.

Néanmoins, cette campagne présente en particulier pour le toluène et les xylènes, des résultats différents avant purge et après purge au niveau du Pz3. Ces résultats sont illustrés ci-dessous en Figure 17.

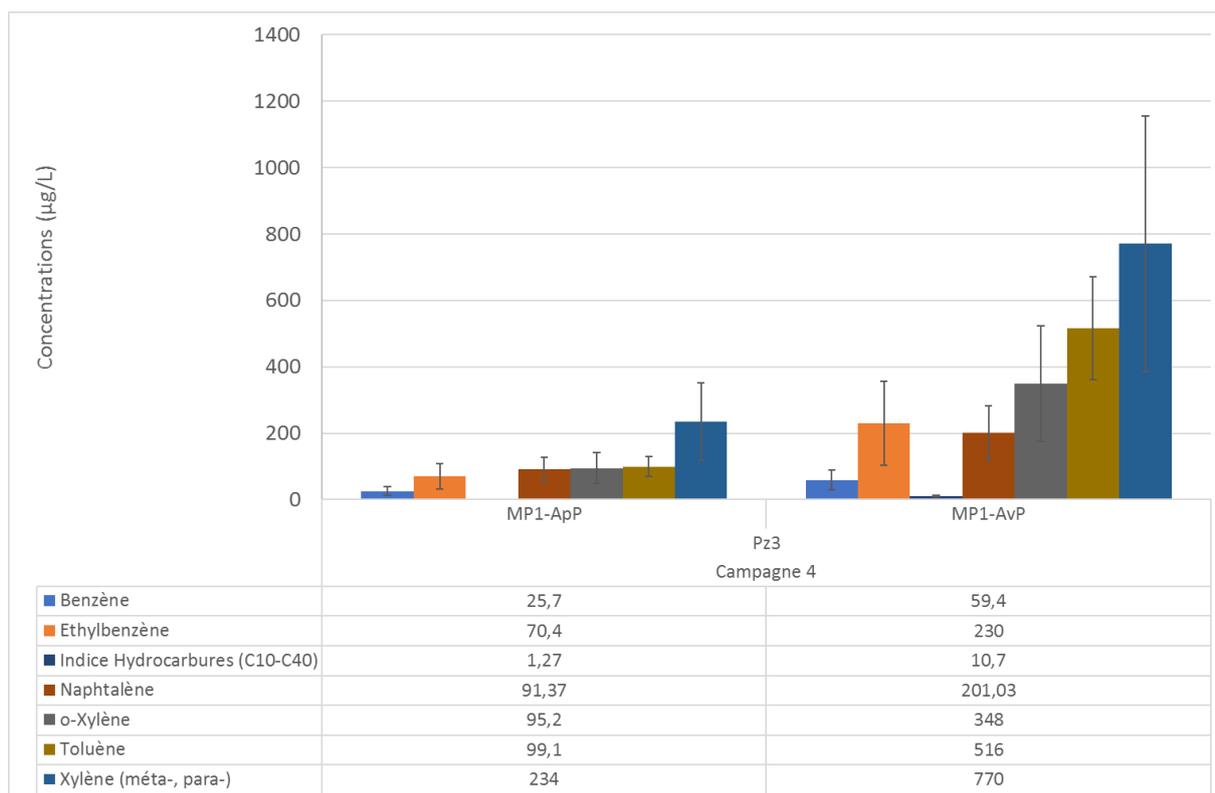


Figure 17 : Site 2 Influence de la purge – Concentrations en BTEX, Naphtalène et indice HCT sur 1 piézomètre et pour la dernière campagne (MP1)

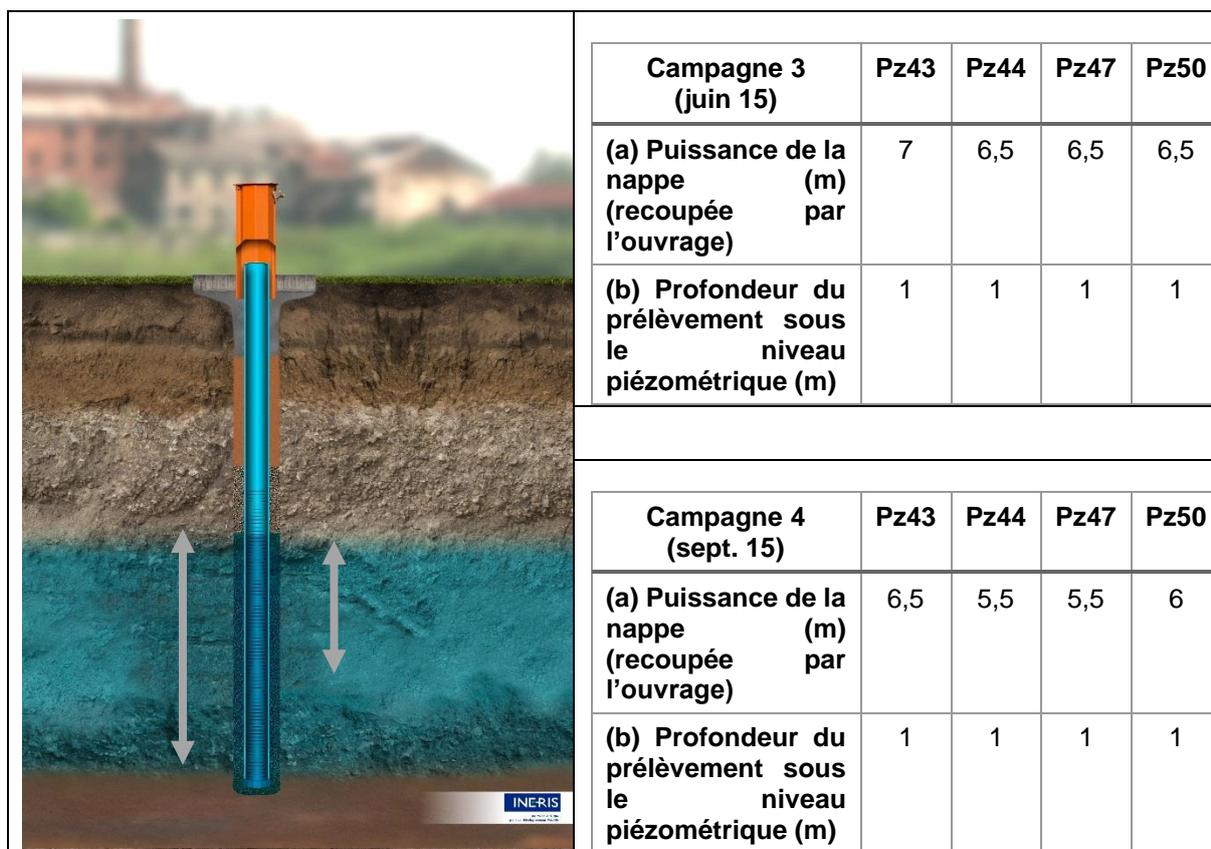
Comme dans le cas précédent (cf. Site 1), la présence d'une faible épaisseur de phase surnageante a été observée ponctuellement avant la purge en Pz3. Les résultats obtenus en HCT confirment cette tendance, une différence avant purge et après purge, avec un facteur 10 entre les résultats. En présence de phase dans l'ouvrage, la purge ou l'absence de purge influence donc fortement le résultat obtenu.

Les résultats de trois campagnes effectuées sur un site implanté au droit de la nappe de la craie et pollué par des hydrocarbures, en particulier BTEX et naphtalène (HAP), sont dans l'ensemble similaires avant et après la purge (considérant l'incertitude analytique). Le cas d'un piézomètre à proximité de la source de pollution (Pz3) illustre l'influence de la purge en présence d'une phase pure ou d'une émulsion.

Site 3 - ICPE en activité (BIOdéPOL)

Protocole de prélèvement : utilisation d'un bailer puis de la pompe immergée PP36-LF (Low Flow) pour échantillonnage avant et après une purge. La purge a été réalisée à l'aide de la pompe PP36-LF, à la même profondeur que l'échantillonnage et pour un débit de l'ordre de 8 L/mn (critères d'arrêt : stabilisation des paramètres physico-chimiques et *a minima* 3 volume de puits).

Ci-dessous sont reportées sur l'illustration d'un piézomètre la puissance de la nappe (recoupée par l'ouvrage) et la profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique.



Résultats d'analyses : les concentrations présentées par la suite ont été déterminées avec une incertitude fournie par le laboratoire (laboratoire AGROLAB retenu par les partenaires de BIOdéPOL). Les incertitudes concernant les principales substances citées dans le texte sont : Benzène 0,14 ; Xylène (méta-, para-) 0,18 ; Naphtalène 0,13 ; Acénaphthylène 0,38 ; Acénaphthène 0,17 ; Fluorène 0,11 ; Phénanthrène 0,1. Cette information est reportée sur les graphiques.

A noter que l'estimation par le calcul des incertitudes liées à l'analyse repose sur des méthodes différentes selon les laboratoires (AGROLAB et EUROFINs). Dans le cadre de cette comparaison ce changement n'a pas d'influence - les résultats fournis par AGROLAB ont été utilisés ici – toutefois, le lecteur observera pour une même substance (ex. benzène) des gammes d'incertitudes différentes selon le site.

Dans le cas du projet BIODéPOL, qui a permis d'initier la démarche de comparaison, de nombreux ouvrages ont été considérés (jusqu'à 11) au cours de 4 principales campagnes. Néanmoins, au regard des concentrations obtenues, le choix des ouvrages étudiés a évolué au cours du projet et les graphiques qui suivent illustrent les résultats montrant le plus de valeurs supérieures à la LQ du laboratoire.

A noter également pour ce qui concerne BIODéPOL l'absence de prélèvement avant purge (AvP) au cours des premières campagnes.

La Figure 18 illustre les résultats obtenus au niveau du piézomètre Pz50 pour deux campagnes (les deux dernières menées sur ce site).

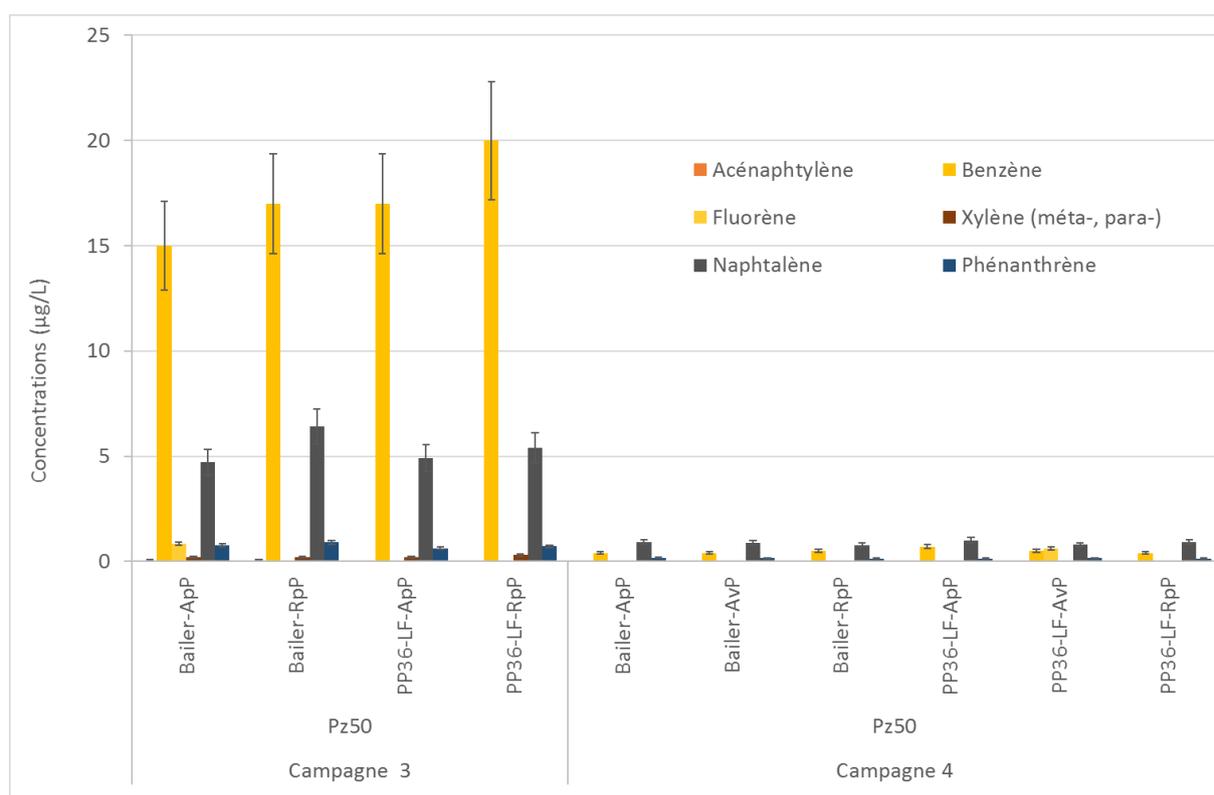


Figure 18 : Site 3 Influence de la purge – Concentrations en substances hydrocarbures identifiées (>LQ) sur 1 piézomètre et pour 2 campagnes (Bailer et PP36-LF)

Lors de l'avant dernière campagne du projet, les concentrations reportées sur le graphique (>LQ) sont similaires après purge (ApP) ou 24h après purge (RpP) pour un prélèvement au bailer ou à la pompe immergée PP36-LF. Lors de la dernière campagne du projet, où des prélèvements avant purge ont été effectués sur 4 piézomètres, les concentrations sont également comparables en Pz50.

Sur les autres ouvrages (Pz43, Pz44 et pz47) les concentrations sont assez faibles, comme illustré ci-dessous (cf. Figure 19).

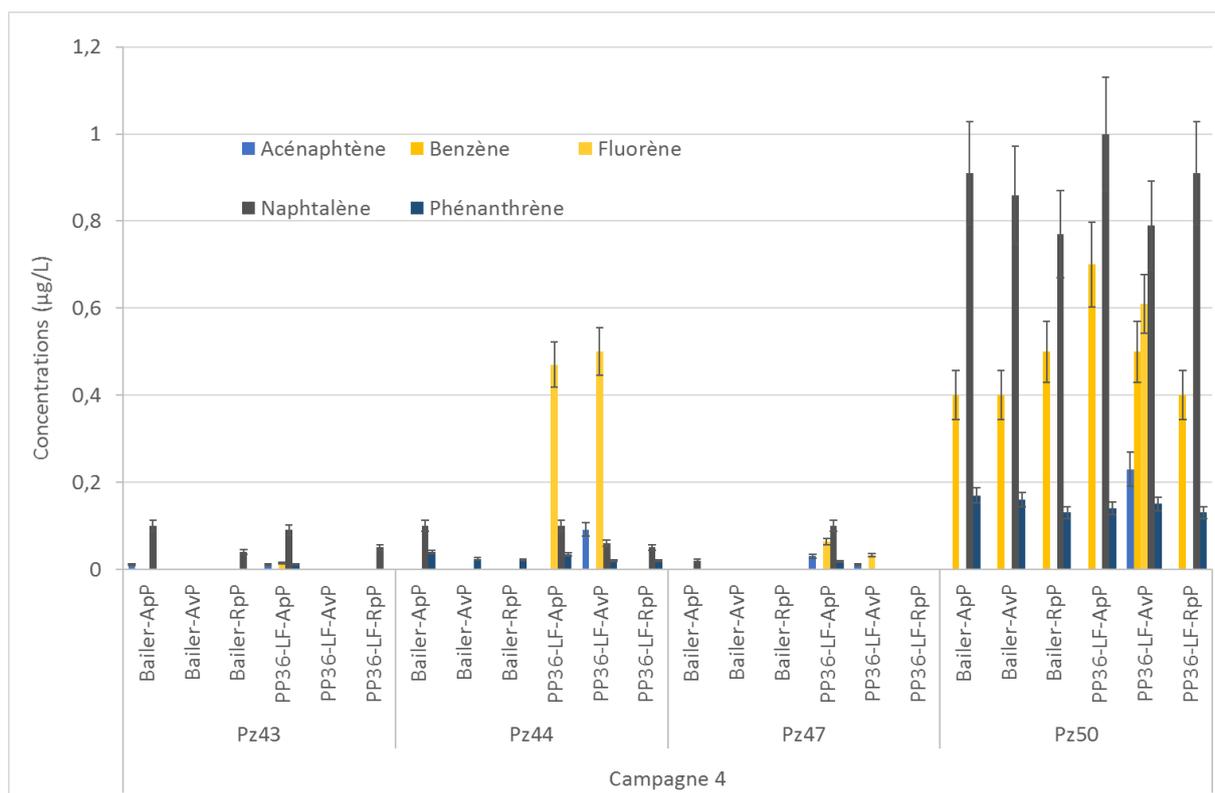


Figure 19 : Site 3 Influence de la purge – Concentrations en substances hydrocarbures identifiées (>LQ) sur quatre ouvrages pour la dernière campagne (Bailer et PP36-LF)

Avec la PP36-LF, contrairement aux résultats obtenus avec le bailer, la présence de fluorène est à noter, notamment en Pz44. Cette différence ponctuelle entre les ouvrages et surtout entre les prélèvements ApP et RpP ne peut être expliquée bien que comme indiqué précédemment, les teneurs soient faibles mais sensiblement au-dessus de la LQ (0,01 µg/L pour le fluorène).

Tous composés confondus, l'influence de la purge peut également être étudiée dans le cas présent via une droite de corrélation entre les données acquises à 24h d'intervalle suite à la purge (cf. Figure 20) : la corrélation entre les données obtenues ApP et RpP est satisfaisante avec un R^2 de 0,85 et 0,88 et une pente proche de 1 - 0,92 et 0,99 - respectivement pour le bailer et la pompe immergée (AvP non considérés ici car ne concerne que la dernière campagne).

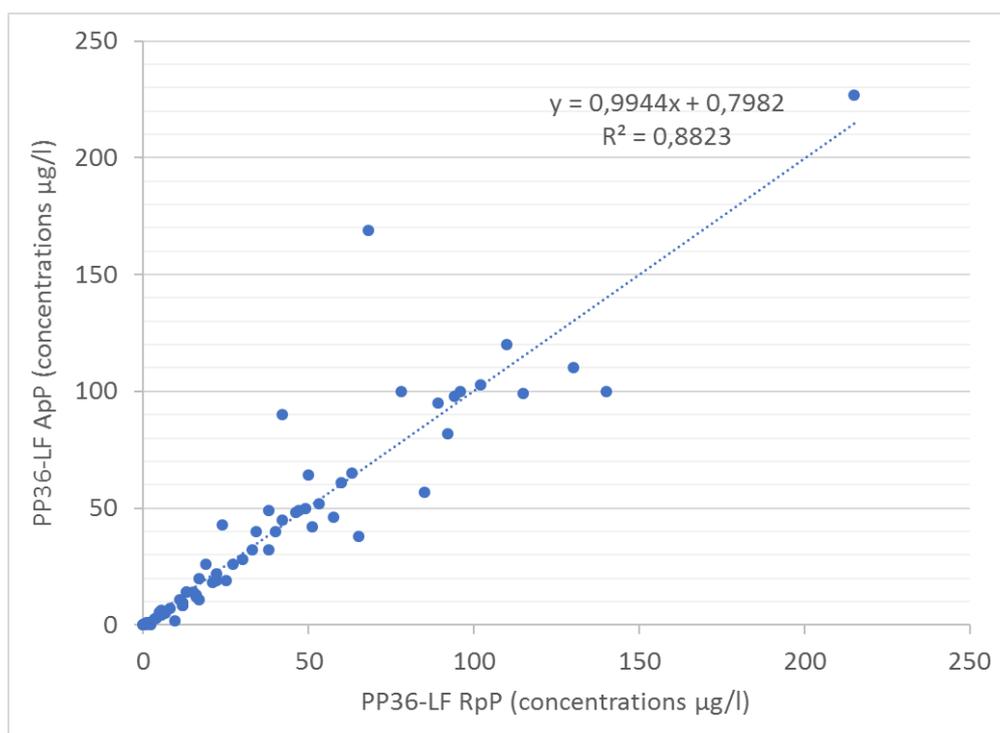
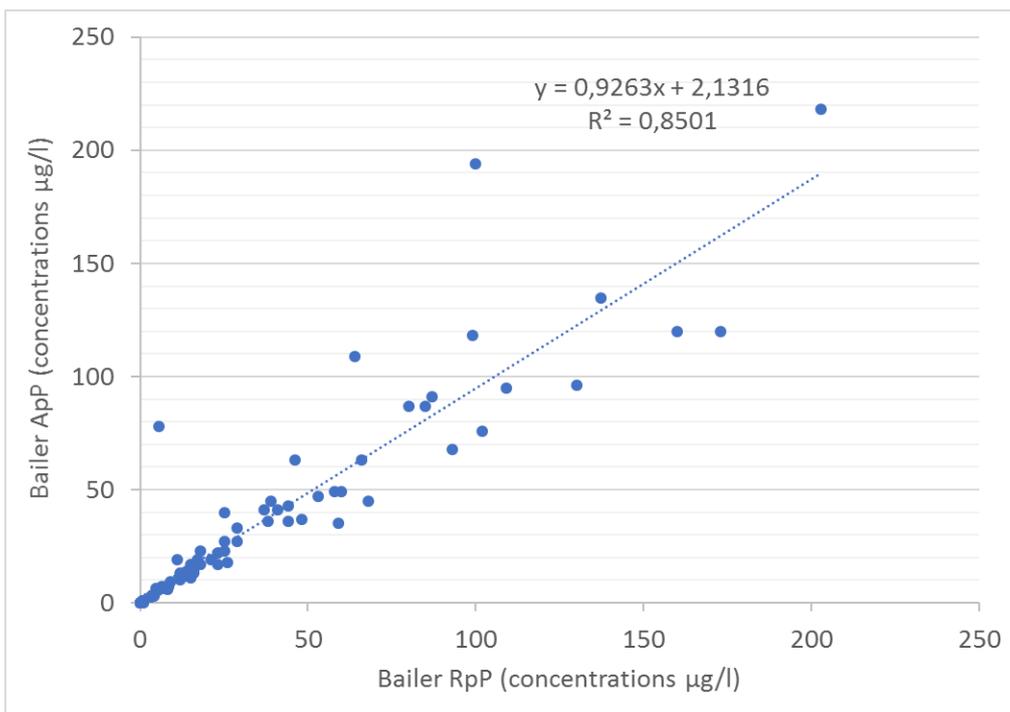


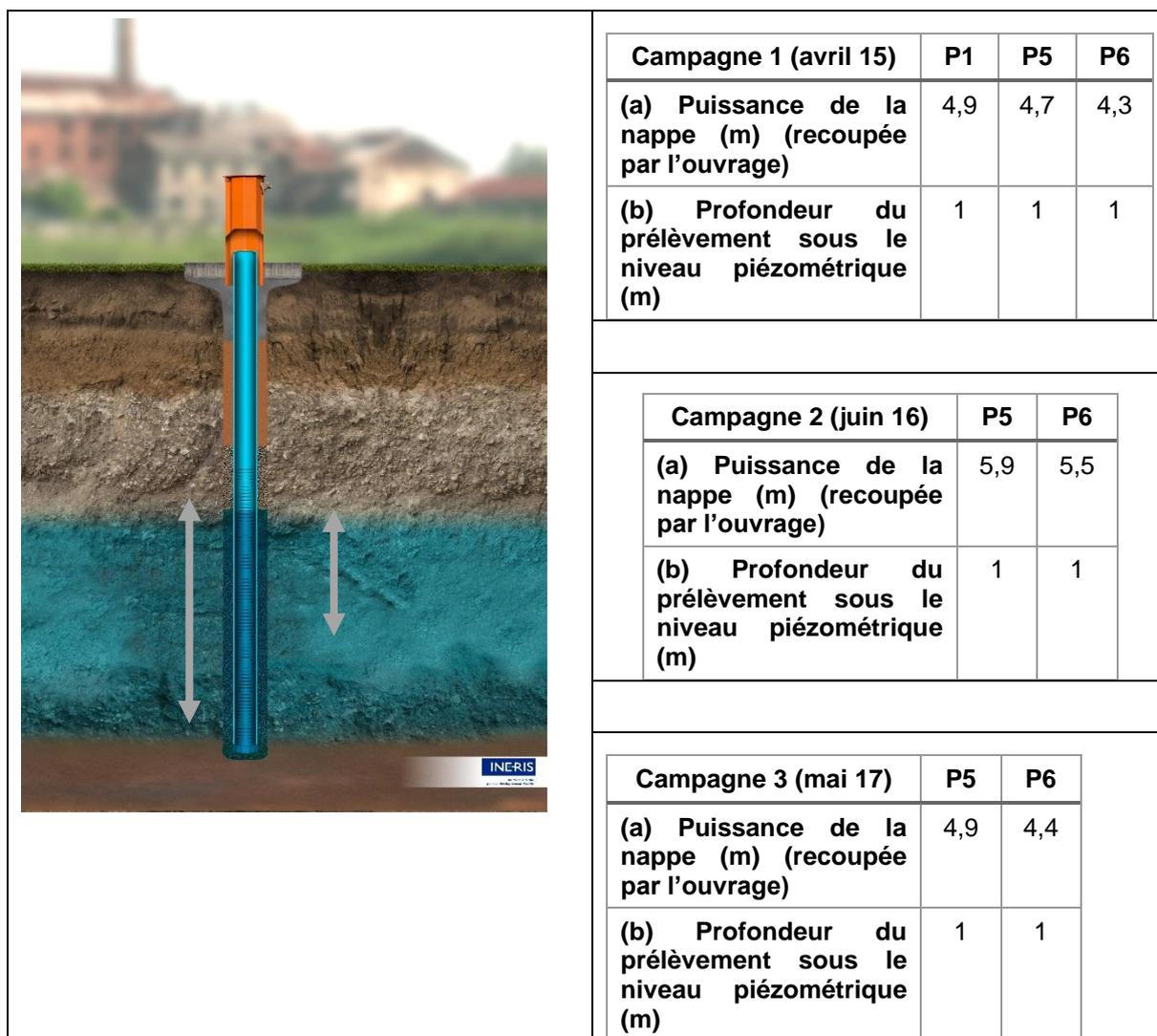
Figure 20 : Site 3 Influence de la purge – Droites de corrélation relatives au résultats acquis au cours de 4 campagnes via le Bailer (en haut) et la pompe PP36-LF (en bas)

Ce site est localisé au droit d'une nappe alluviale (nappe de la Crau), une pollution aux hydrocarbures s'est produite en 2009 suite à la rupture d'un pipeline. Les travaux menés sur l'influence de la purge conduisent à observer des concentrations similaires dans une grande majorité des cas (considérant l'incertitude analytique). Il apparaît notamment que les prélèvements effectués 24h après la purge sont comparables à ceux effectués à l'issue de la purge.

Site 4 - ICPE en cessation d'activité

Protocole de prélèvement : utilisation d'un bailer puis de la pompe immergée PP36-LF (Low Flow) pour échantillonnage avant et après une purge. La purge a été réalisée à l'aide de la pompe PP36-LF, à la même profondeur que l'échantillonnage et pour un débit de l'ordre de 4 L/mn (critères d'arrêt : stabilisation des paramètres physico-chimiques et *a minima* 3 volume de puits).

Ci-dessous sont reportées sur l'illustration d'un piézomètre la puissance de la nappe (recoupée par l'ouvrage) et la profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique.



Résultats d'analyses : les concentrations présentées par la suite ont été déterminées avec une incertitude fournie par le laboratoire (EUROFINS), avec pour les substances les plus citées dans le texte : Benzène 0,5 ; Toluène 0,3 ; Ethylbenzène 0,55 ; Xylène (méta-, para-) 0,5 ; o-Xylène 0,5 ; HCT 0,2 ; Naphtalène 0,4 ; Acénaphène 0,4. Cette information est reportée sur les graphiques.

Les concentrations les plus élevées ont été mesurées en P1 au cours d'une première campagne. Ces données reportées en Figure 21 et Figure 22 montrent que les résultats sont, considérant l'incertitude donnée par le laboratoire, similaires entre deux prélèvements effectués à 24h d'intervalle (ApP puis RpP, lors de cette première campagne, AvP non effectués comme dans le cadre de BIODéPOL).

Deux autres graphiques, Figure 23 et Figure 24, ont été réalisés à partir des données acquises au cours des trois campagnes menées, sur deux piézomètres conservés durant ces mêmes campagnes, P5 et P6 (plus en aval). L'INERIS observe que les résultats obtenus au cours des campagnes 1 et 3 sont comparables, avec bailer et avec PP36-LF.

Néanmoins, ce n'est pas le cas en P5 au cours de la campagne 2, quel que soit l'outil employé. Ainsi, des substances différentes font leur apparition selon l'outil considéré (à des teneurs élevées) :

- 1500 µg/L de naphthalène en P5 avec le bailer, 24h après la purge ;
- 350 µg/L d'acénaphène en P5 avec la PP36-LF, 24h après la purge.

Cette différence ponctuelle en P5, portant notamment sur le HAP le plus mobile des 16 HAP recherchés, à savoir le naphthalène, ne peut être expliquée.

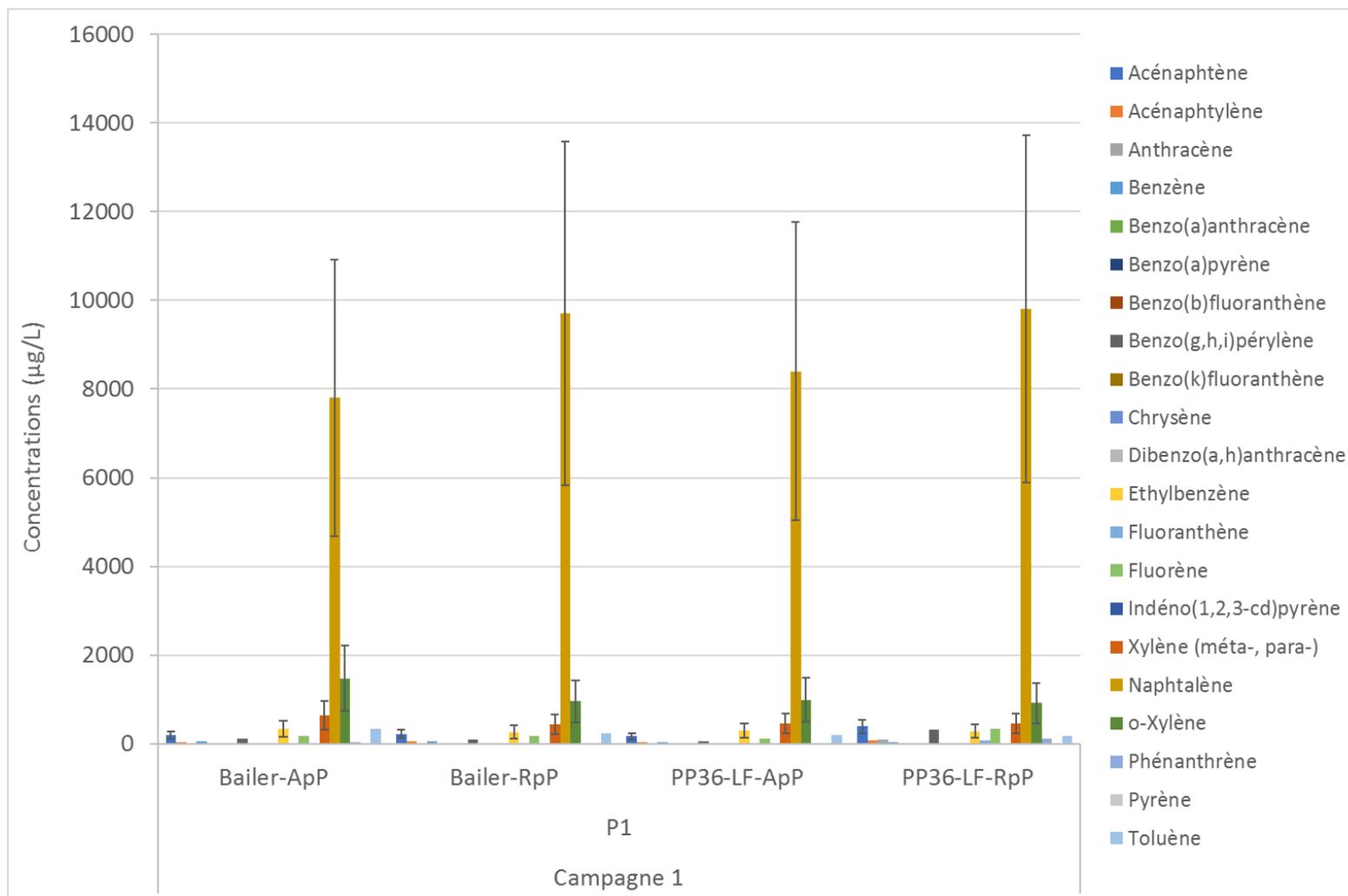


Figure 21 : Site 4 Influence de la purge – Concentrations en substances hydrocarbures identifiées (>LQ) sur 1 piézomètre pour la première campagne (Bailer et PP36-LF)

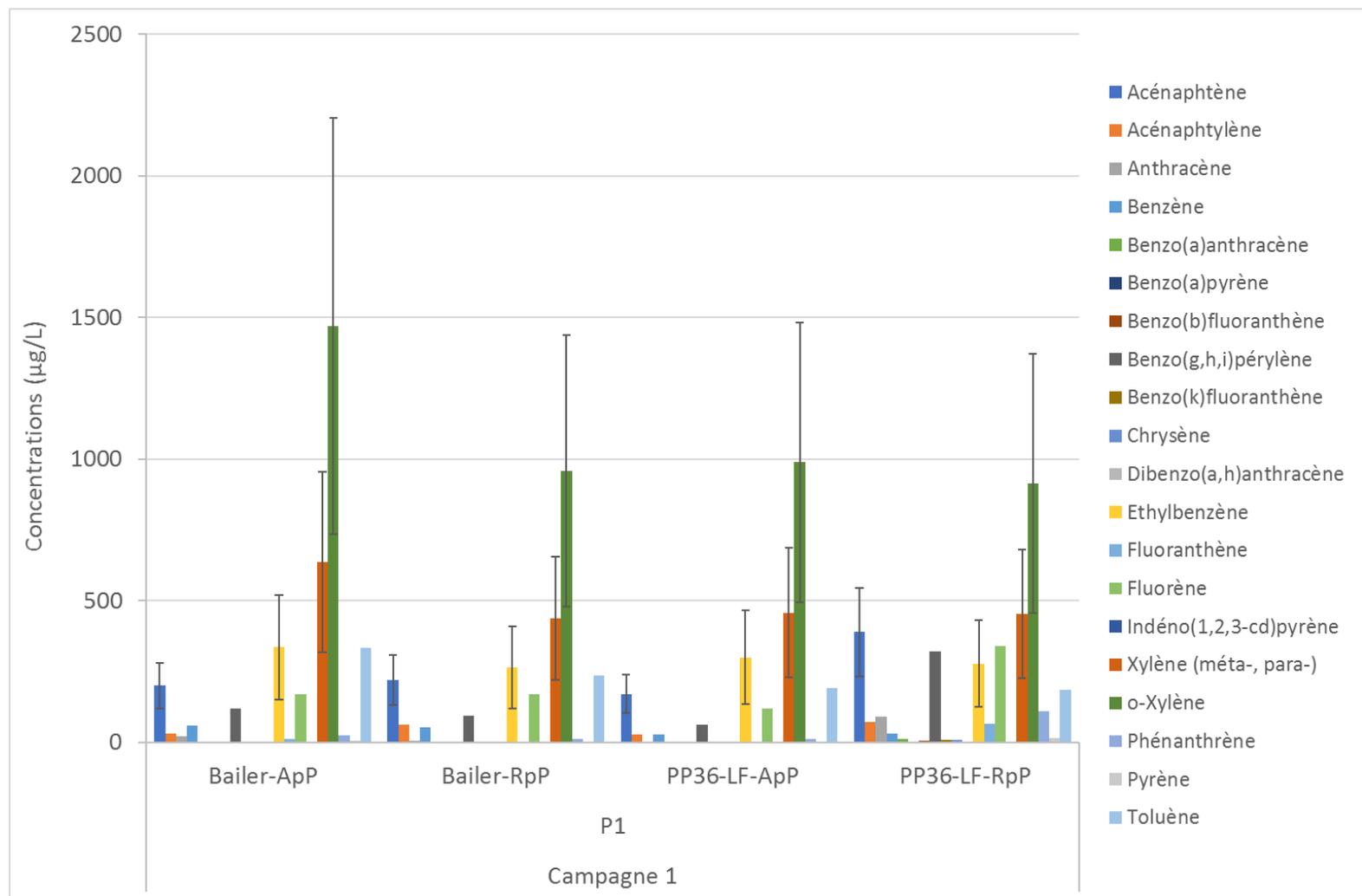


Figure 22 : Site 4 Influence de la purge – Concentrations en substances hydrocarbures identifiées (>LQ) - hors naphthalène - sur 1 piézomètre pour la première campagne (Bailer et PP36-LF)

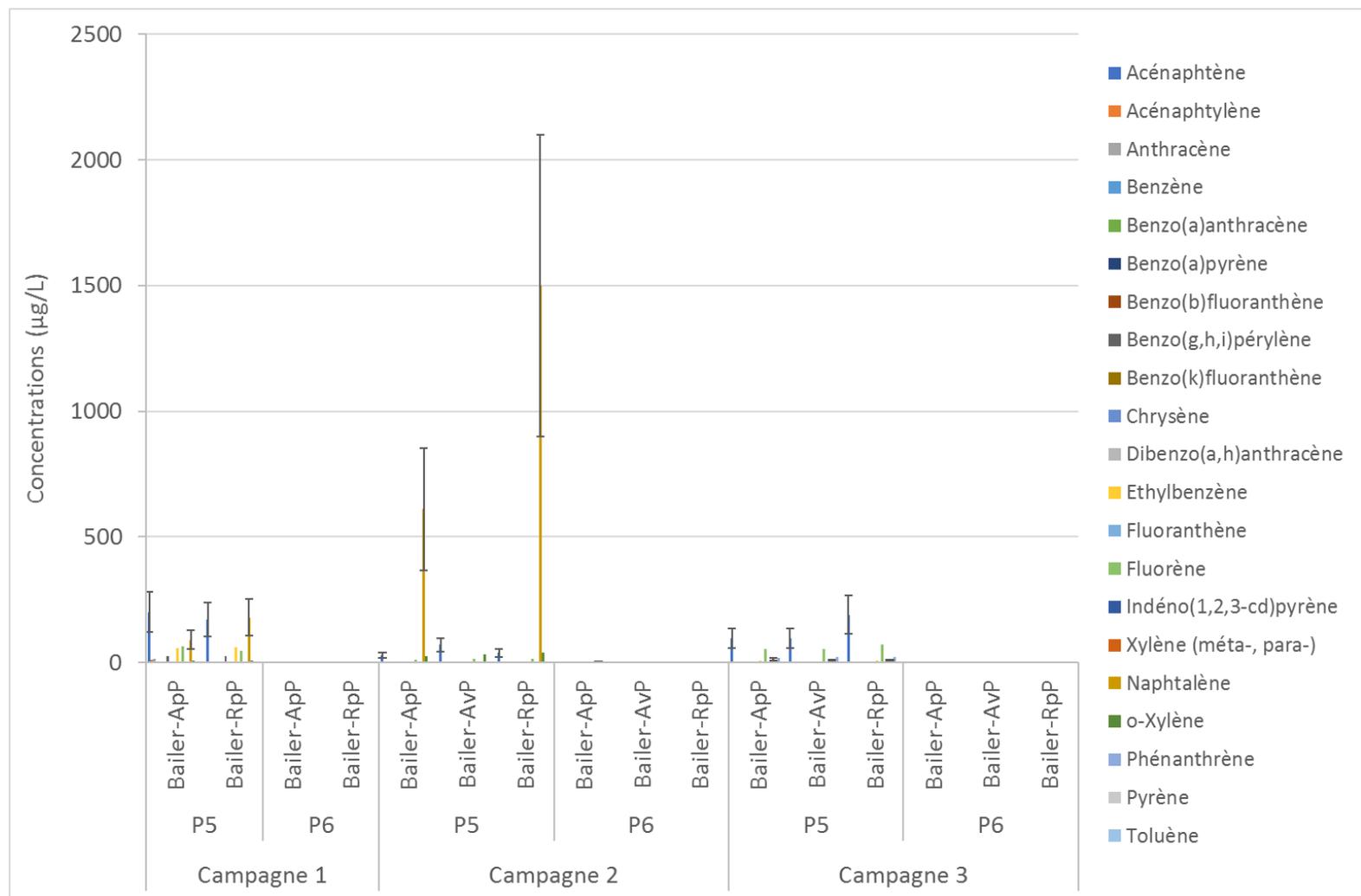


Figure 23 : Site 4 Influence de la purge – Concentrations en substances hydrocarbures identifiées (>LQ) sur 2 piézomètres pour 3 campagnes (Bailer)

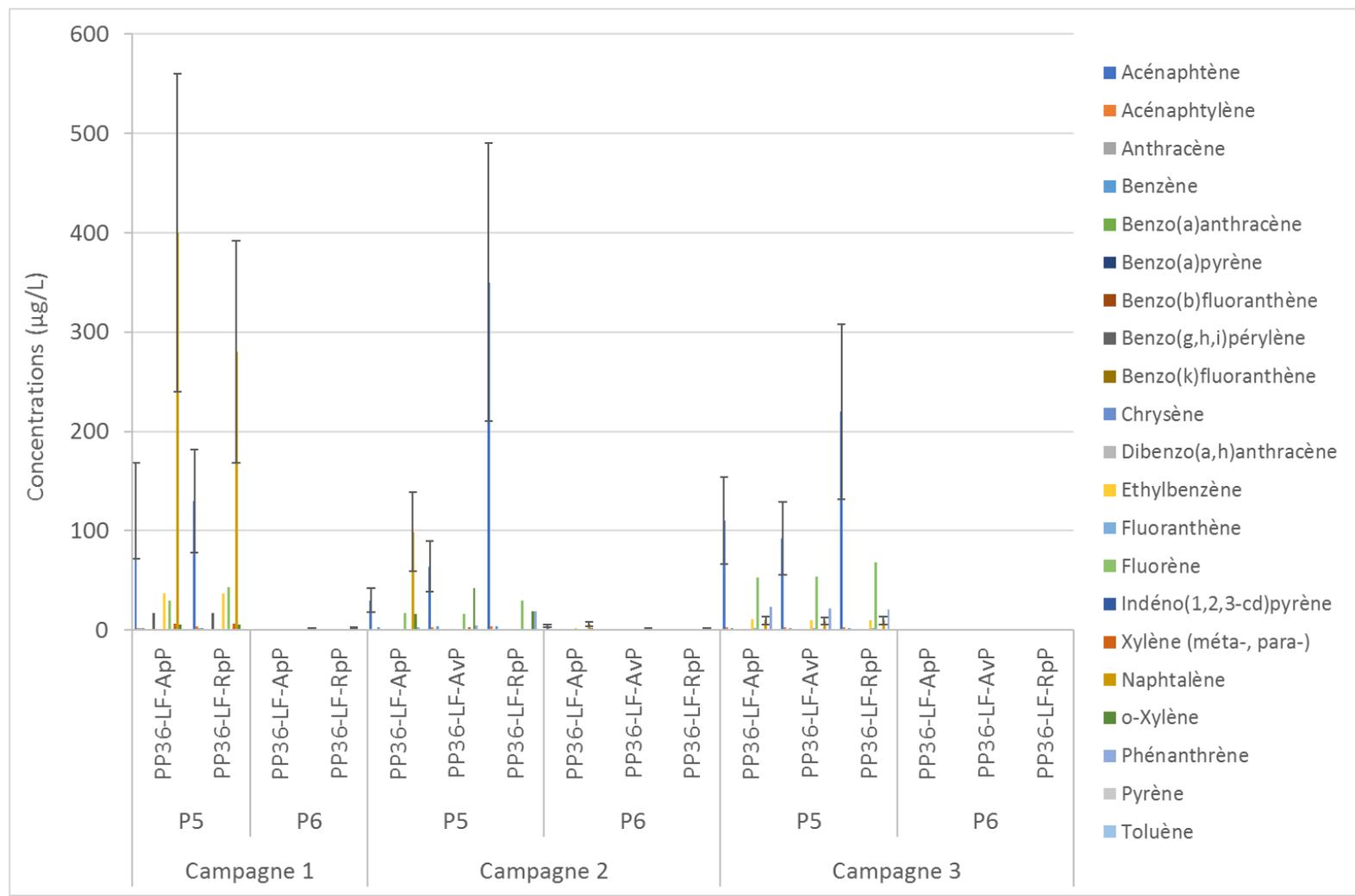


Figure 24 : Site 4 Influence de la purge – Concentrations en substances hydrocarbures identifiées (>LQ) sur 2 piézomètres pour 3 campagnes (PP36-LF)

Ce site concerne une nappe alluviale impactée par une activité historique et en particulier par des substances hydrocarbures (BTEX et HAP). La plupart des données acquises montrent des résultats similaires avant et après purge voire 24h après purge (considérant l'incertitude analytique), bien que des différences aient été constatées ponctuellement selon l'ouvrage et les outils employés au cours de l'une des trois campagnes menées.

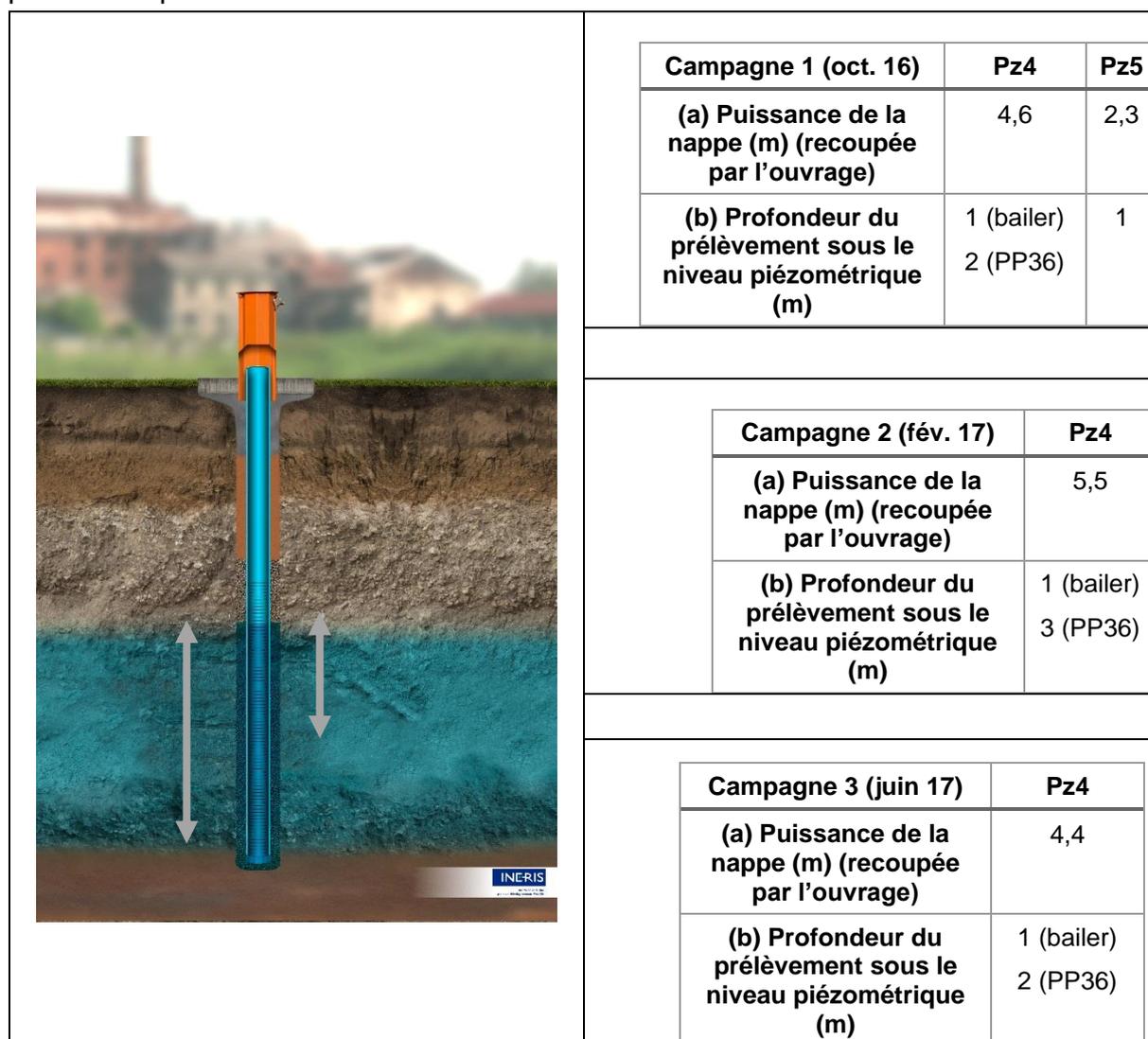
Ces variations ponctuelles mettent en exergue la nécessité de disposer de résultats obtenus au cours de plusieurs campagnes et à partir de plusieurs ouvrages avant de pouvoir conclure quant à l'influence de la purge et d'autres facteurs sur les concentrations obtenues.

Site 5 - site minier en cessation d'activité

Protocole de prélèvement : utilisation d'un bailer puis de la pompe immergée PP36-LF (Low Flow) pour échantillonnage avant et après une purge. La purge a été réalisée à l'aide de la pompe PP36-LF, à la même profondeur que l'échantillonnage et pour un débit de l'ordre de 4 L/mn (critères d'arrêt : stabilisation des paramètres physico-chimiques et *a minima* 3 volume de puits).

Les résultats présentés ci-après pour les Eléments Traces Métalliques (ETM) concernent des échantillons non filtrés.

Ci-dessous sont reportées sur l'illustration d'un piézomètre la puissance de la nappe (recoupée par l'ouvrage) et la profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique.



Résultats d'analyses : les concentrations présentées par la suite ont été déterminées avec une incertitude fournie par le laboratoire (EUROFINS), avec pour les plus cités dans le texte : arsenic (As) 0,45 ; plomb (Pb) 0,2 ; zinc (Zn) 0,25. Cette information est reportée sur les graphiques. Dans les tableaux, le chiffre « 0 » correspond à « <LQ » (Limite de Quantification, également fournie par le laboratoire).

Les Eléments Traces Métalliques (ETM) ont été recherchés sur ce site où l'eau souterraine circule au sein d'une nappe alluviale. Au cours de la première campagne, où les ouvrages Pz4 et Pz5 ont pu être utilisés avant la destruction du Pz5, seuls les prélèvements réalisés après une purge ont mis en évidence la présence de plomb et de zinc (avec le bailer puis avec la pompe PP36-LF).

Sur Pz4, seul ouvrage où trois campagnes ont pu être effectuées, ce constat n'est pas valable dans le cas des deux campagnes suivantes comme l'illustre la Figure 25 (campagne 2 et campagne 3). Il est donc difficile d'en tirer des enseignements, d'autant plus pour des concentrations faibles en As et Pb (pour information : LQ de 0,005 µg/L pour As et Pb ; 0,02 pour Zn).

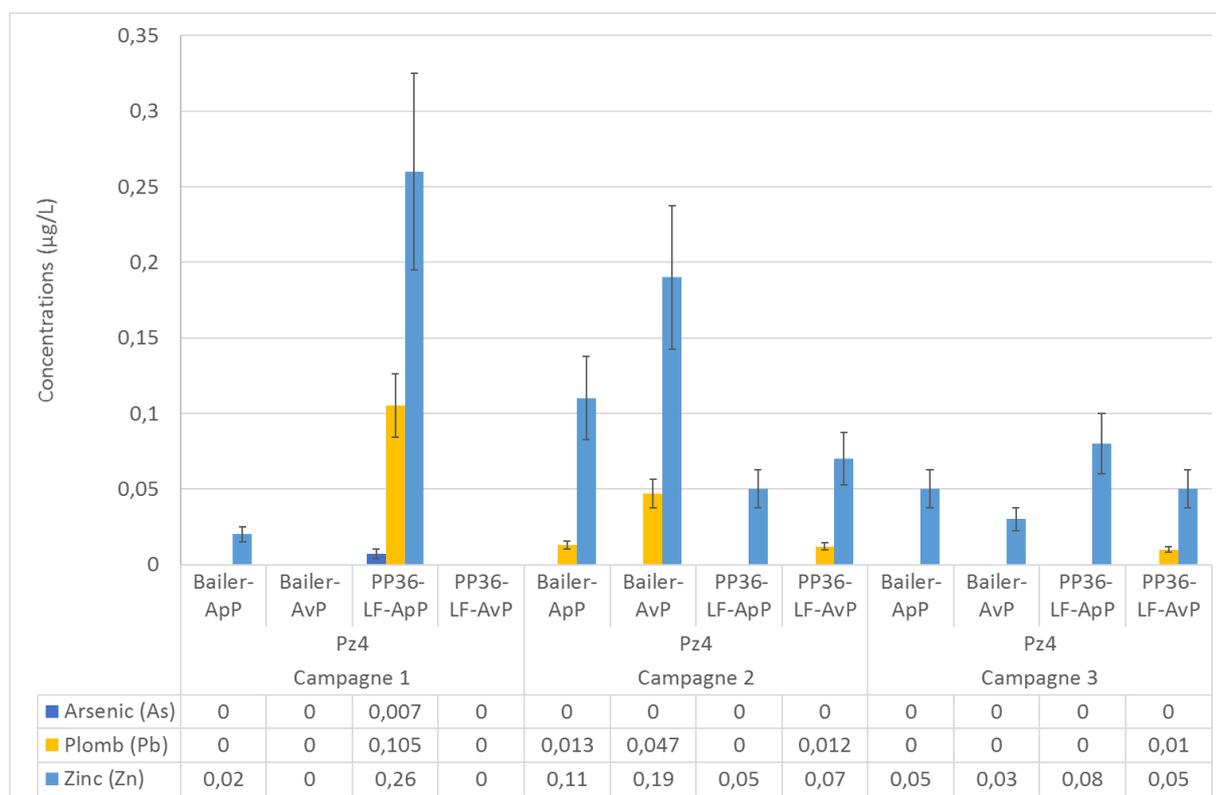


Figure 25 : Site 5 Influence de la purge – Concentrations en ETM sur 1 piézomètre pour 3 campagnes (Bailer et PP36-LF)

Au cours de la seconde et de la troisième campagne en Pz4, une sonde multi-paramètres (Aqua TROLL 600) a été utilisée et les résultats sont présentés ci-dessous en Figure 26 et Figure 27 (profondeur en abscisse en m et valeur en ordonnée).

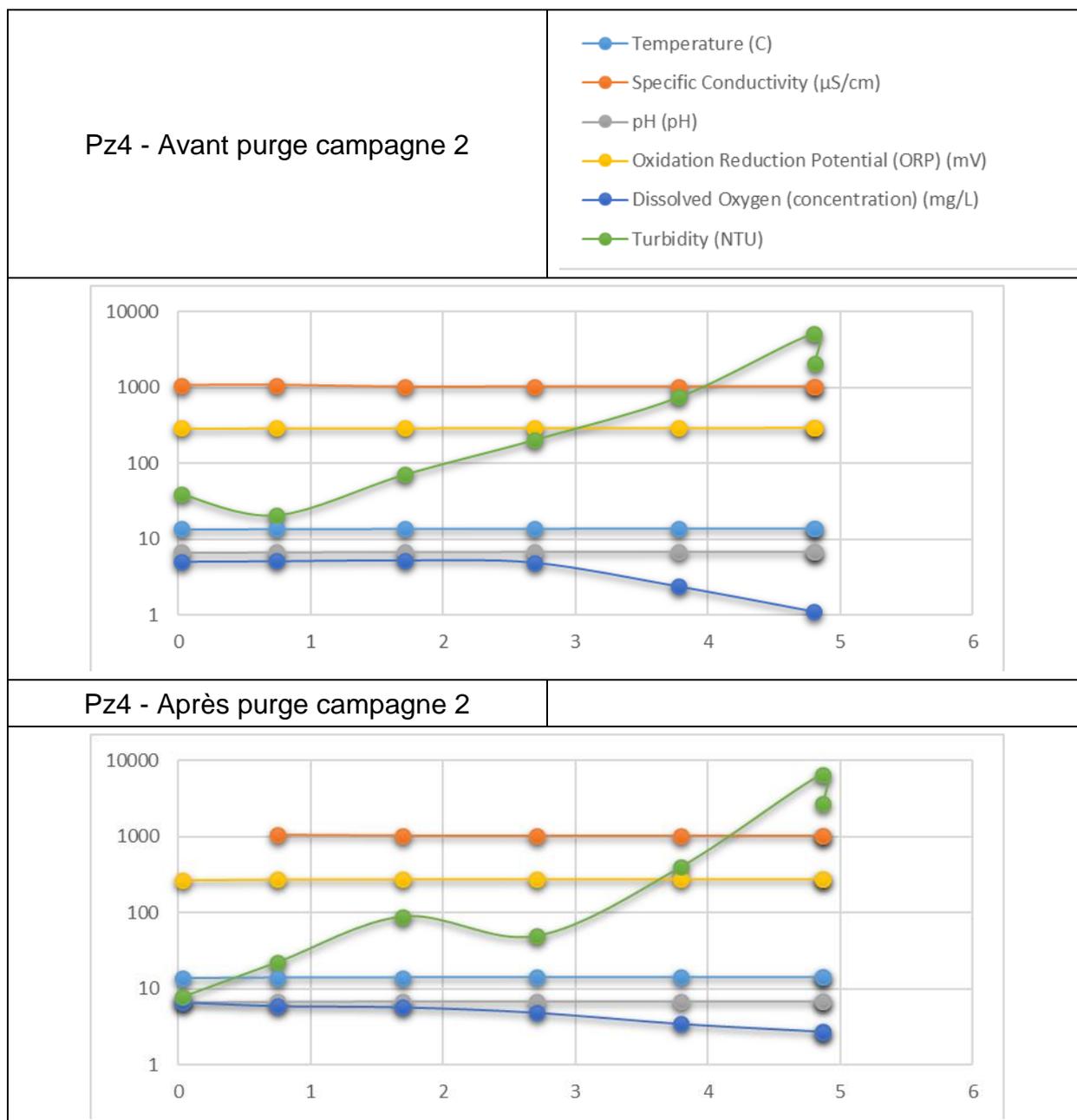


Figure 26 : Site 5 Influence de la purge – Diagraphies sur Pz4 pour la campagne 2

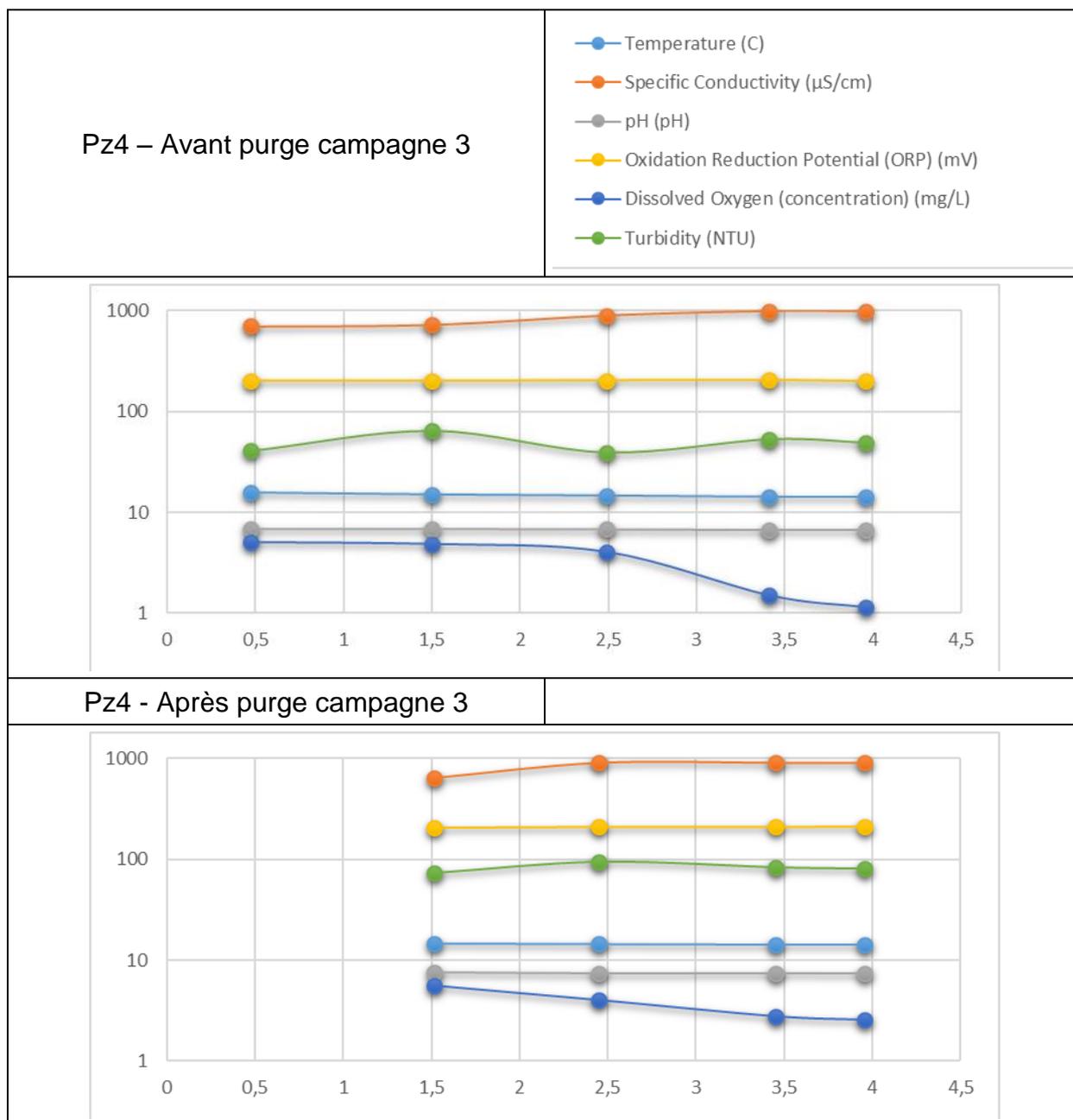


Figure 27 : Site 5 Influence de la purge – Diagraphies sur Pz4 pour la campagne 3

Ces diagraphies montrent :

- pour ces deux campagnes, peu de variation pour le pH, la température ou encore le potentiel rédox (ici noté ORP) au sein de la nappe ;
- pour ces deux campagnes, une diminution de l'oxygène dissous en profondeur ;
- pour la seconde campagne, une turbidité plus élevée a été mesurée avant la purge pour l'intervalle 0-1 m (prélèvement bailer) et 3 m (prélèvement PP36 LF) de profondeur, par rapport à la situation après purge.

Les différences observées, à savoir plus de Pb et Zn en Pz4 avant purge (AvP) au cours de cette seconde campagne, peuvent être attribuées à la présence plus importante de particules avant la purge. En effet, les particules peuvent contenir des ETM du fait d'échanges cationiques, conservée ou non lors de la préparation de l'échantillon.

Pour aller plus loin :

Cf. 2.1.2 du rapport « Recommandations pour la modélisation des transferts des éléments traces métalliques dans les sols et les eaux souterraines » INERIS, 2006

Les résultats de trois campagnes effectuées sur un site implanté au droit d'une nappe alluviale et pollué par des ETM, en particulier zinc et plomb, varient avant et après la purge. Ces résultats montrent l'influence des particules présentes au sein de la colonne d'eau sur la quantification des ETM.

Site 6 - ICPE – ISDnD en activité

Protocole de prélèvement : utilisation d'un bailer puis de la pompe immergée PP36-LF (Low Flow) pour échantillonnage avant et après une purge. La purge a été réalisée à l'aide de la pompe PP36-LF, à la même profondeur que l'échantillonnage et pour un débit de l'ordre de 4 L/mn (critères d'arrêt : stabilisation des paramètres physico-chimiques et *a minima* 3 volume de puits).

Ci-dessous sont reportées sur l'illustration d'un piézomètre la puissance de la nappe (recoupée par l'ouvrage) et la profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique.

	Campagne 1 (avril 16)	SP10	SP11
	(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)	6,3	9
	(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)	1 (bailer) 3 (PP36)	1 (bailer) 4,5 (PP36)
	Campagne 2 (nov. 16)	SP10	SP11
	(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)	7,2	9,1
	(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)	1 (bailer) 3,5 (PP36)	1 (bailer) 6,5 (PP36)
	Campagne 3 (juin 17)	SP10	SP11
	(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)	6,8	9,5
	(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)	1 (bailer) 3,4 (PP36)	1 (bailer) 6 (PP36)

Résultats d'analyses : les concentrations présentées par la suite ont été déterminées avec une incertitude fournie par le laboratoire (EUROFINS), concernant les principales substances citées dans le texte ; il s'agit : calcium 0,3 ; sulfates 0,2. Cette information est reportée sur les graphiques.

Les Eléments Traces Métalliques (ETM) ont été recherchés lors des deux premières campagnes, mais très peu de résultats supérieurs à la LQ ont été obtenus. Le site a toutefois été conservé pour mener à bien une comparaison sur anions et cations, dont l'ion chlorure en particulier (en lien avec l'activité de stockage de déchets non dangereux).

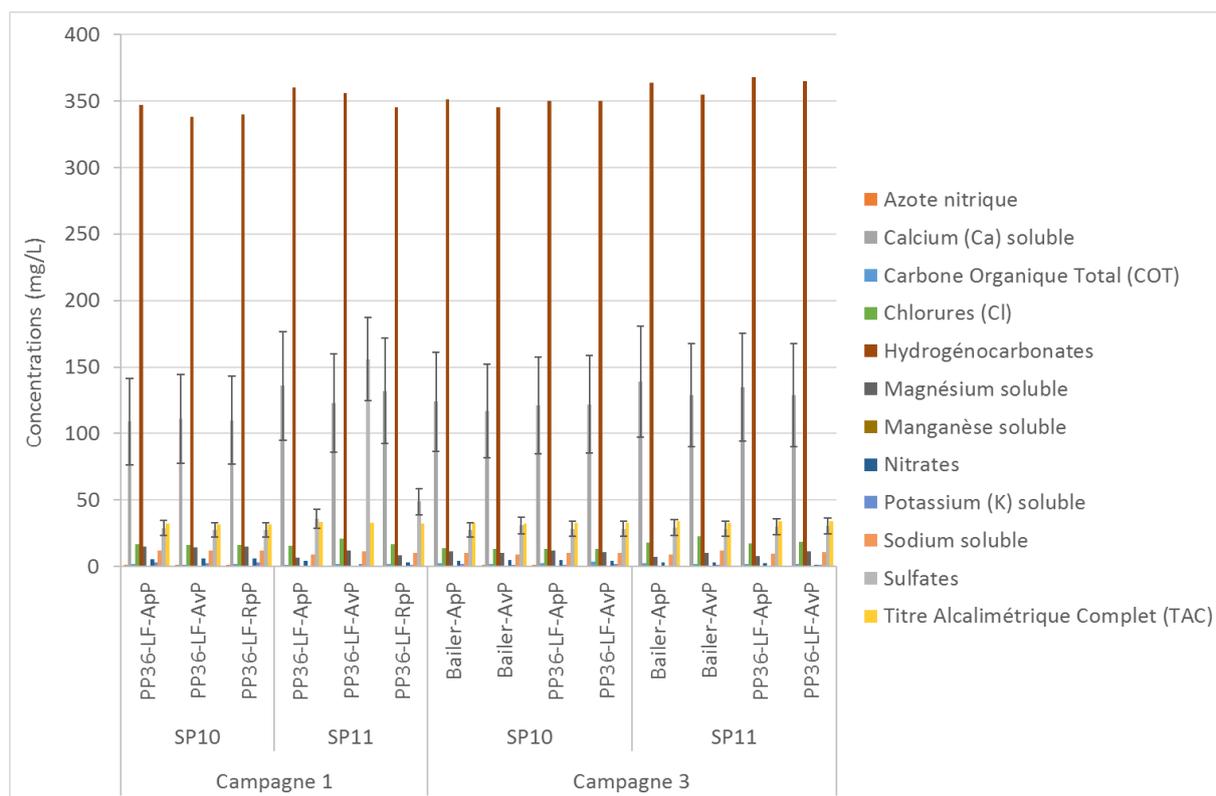


Figure 28 : Site 6 Influence de la purge – Concentrations en anions et cations majeurs sur 2 piézomètres pour 2 campagnes (Bailer et PP36-LF)

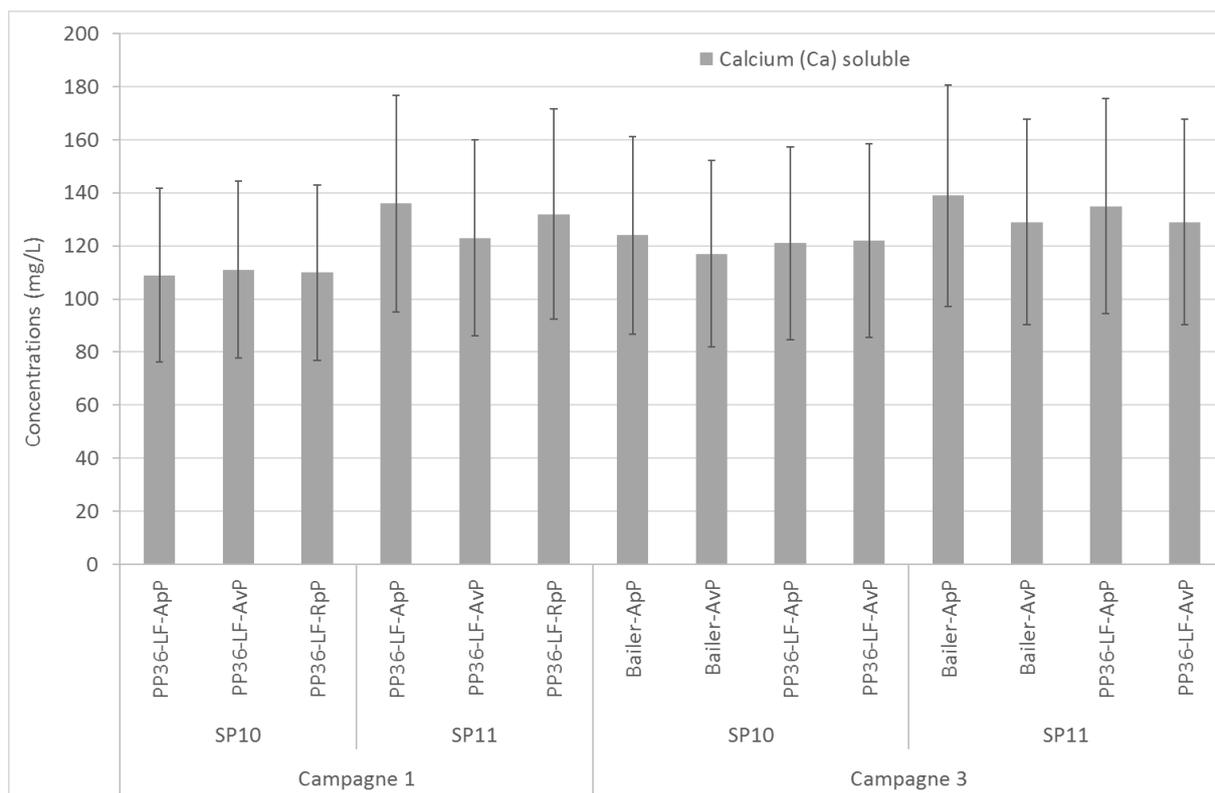


Figure 29 : Site 6 Influence de la purge – Concentrations en calcium sur 2 piézomètres pour 2 campagnes (Bailer et PP36-LF)

Au cours de la première et de la troisième campagne (où l'INERIS dispose de données AvP et ApP sur anions et cations), les résultats sont similaires, à une exception près, pour les sulfates en SP11 au cours de la première campagne (cf. Figure 28 et Figure 29). Il convient de souligner qu'une filtration de l'échantillon est réalisée au laboratoire (EUROFINS) pour l'analyse des anions (dont chlorures, sulfates) et que le flaconnage dédié aux cations contient de l'acide. Ainsi, il est préférable de s'intéresser exclusivement aux éléments cationiques dont l'échantillon n'est pas filtré par le laboratoire pour étudier l'influence de la purge (en présence d'éventuelles particules). Il apparaît que pour les cations et en particulier le calcium, cation pour lequel des concentrations élevées sont observées, les données acquises ne montrent pas de différence majeure avant et après la purge (considérant l'incertitude analytique).

Les résultats de deux campagnes effectuées sur un site implanté sur une zone en cours de karstification sont similaires avant et après la purge - à l'issue de la purge et 24h après (considérant l'incertitude analytique). L'influence de la purge sur les concentrations en cations majeurs s'avère limitée sur ce site.

Approche statistique (complémentaire)

L'objectif est ici d'analyser l'effet de la purge sur les concentrations et de tester la présence ou l'absence de différences significatives entre des moyennes. Pour y parvenir, le test t de Student a été utilisé dans un premier temps, afin de comparer deux moyennes provenant d'échantillons indépendants. Cette première étape a permis de considérer pour un site donné, l'ensemble des données et en particulier des campagnes disponibles afin de disposer de suffisamment d'éléments pour utiliser un outil statistique.

Dans un second temps, une analyse de la variance à deux facteurs avec ou sans interaction a été effectuée pour analyser l'influence d'autres facteurs (par exemple « ouvrage ») sur la concentration. Lorsqu'une différence de moyennes était significative, l'analyse a été complétée par un test de comparaisons multiples (test de Tukey à 5%) pour identifier quels groupes étaient différents. Le fait de prendre en compte d'autres facteurs permet de distinguer dans certains cas la variabilité due à ces facteurs de la variabilité résiduelle.

Seules les conclusions sont reportées ci-après, les résultats bruts sont fournis en annexe 4. L'approche statistique vient confirmer l'approche des tendances par lecture graphique.

Site 1

L'approche statistique confirme les enseignements de l'approche graphique et en particulier l'influence significative de la purge à proximité de la zone source (dans les ouvrages proches, considérant les résultats acquis en Pz1).

Site 2

L'approche statistique confirme les enseignements de l'approche graphique, en particulier l'influence significative de la purge à proximité de la zone source (considérant les résultats acquis en Pz3).

Site 3

L'approche statistique menée avec les données acquises au cours de deux campagnes effectuées sur ce site confirme les enseignements de l'approche graphique. En effet, les résultats obtenus avec ou sans purge sont dans l'ensemble comparables, bien que certaines différences ponctuelles soient également confirmées (en particulier pour le fluorène).

Site 4

L'approche statistique menée à partir des données acquises au cours de deux campagnes confirme l'absence de différences significatives pour les résultats obtenus avec ou sans purge.

Site 5

L'approche statistique confirme l'existence de variations dans les résultats, variations que l'INERIS attribue à la présence de particules dans la nappe.

Site 6

L'approche statistique confirme les enseignements de l'approche graphique.

Conclusion, points à faire ressortir :

Sur 6 sites et pour plusieurs campagnes, considérant des substances classiquement recherchées dans le domaine des ICPE et des sites pollués, l'INERIS a réalisé une comparaison entre les concentrations obtenues selon qu'une purge du piézomètre soit réalisée ou pas.

Des variations significatives ont été établies pour :

- le Site 1 (COHV), ponctuellement sur un piézomètre proche de la zone source et en présence de phase pure ou plus vraisemblablement d'émulsion ;
- le Site 2 (BTEX, HAP - naphthalène), ponctuellement sur un piézomètre proche de la zone source, en présence de phase pure voire d'émulsion ;
- le Site 3 (BTEX, HAP), ponctuellement sur un piézomètre et pour une substance donnée (fluorène) ;
- le Site 4 (BTEX, HAP), ponctuellement sur un piézomètre et pour des substances données (naphthalène, acénaphène) ;
- le Site 5 (ETM), pour l'ensemble des résultats portant sur les ETM en présence (plomb, zinc).

Une approche statistique est venue confirmer ces observations.

L'INERIS constate en premier lieu que sur une grande majorité des sites (5 sur 6), les données acquises mettent en exergue une variabilité importante des résultats. Mais pour une majorité, il s'agit d'une évolution ponctuelle (sur un piézomètre, pour une substance ou encore pour un outil de prélèvement). Ce premier constat conforte l'INERIS dans son ambition de compléter l'existant en diffusant auprès des acteurs concernés des résultats acquis sur plusieurs sites au cours de plusieurs campagnes et à partir de plusieurs ouvrages. En effet, avant de pouvoir conclure quant aux différentes questions posées dans le cadre de cet exercice, notamment l'influence de la purge sur les concentrations obtenues, il paraît indispensable de disposer de résultats en quantité et qualité suffisants. De nombreuses incertitudes liées aux multiples étapes associées à un prélèvement (sur le terrain, au cours du transport ou encore lors de l'analyse) pouvant conduire à une variabilité des résultats.

Le second constat qui peut être fait, porte sur l'importance de deux facteurs influençant les résultats :

- la présence d'une phase pure (huileuse) ou d'une émulsion (gouttelettes d'huiles, irisation) conduit à des résultats très différents (cf. sites 1, 2), ce qui est cohérent par rapport aux recommandations citées précédemment (API,

2000 – cf. Tableau 2). Il peut s'agir de la migration d'un panache de produits dits « plongeants » (DNAPL) ou « flottants » (LNAPL).

- la présence de particules, sur lesquelles des ETM peuvent être piégés, conduit également à observer des résultats différents (cf. site 5) (avec des échantillons non filtrés).

Les graphiques présentés dans ce document permettent d'illustrer l'influence de ces facteurs sur la concentration obtenue.

L'observation ponctuelle de certaines substances sur les sites 3 et 4 pourrait quant à elle être attribuée à une contamination croisée, mais sans disposer d'éléments complémentaires, ces observations restent inexplicables.

Hormis en présence d'une phase pure ou d'une émulsion sur certains ouvrages à proximité de la zone source, ainsi que dans le cas des ETM pour des échantillons non filtrés, il s'avère que l'influence de la purge est limitée au regard des résultats présentés. Il apparaît ainsi que dans de nombreux cas, l'existence d'ouvrages où l'eau stagne au sein du tubage n'ait pas démontrée ou n'a pas d'influence significative sur les concentrations retenues *in fine compte tenu de la variabilité des résultats non maîtrisée par ailleurs*. La plupart des ICPE et sites pollués étant localisés dans un contexte hydrogéologique de type alluvial (sédimentaire), avec des passées plus ou moins perméables, transmissives, le long de la colonne d'eau, le renouvellement paraît suffisant pour limiter le recours à la purge.

En pratique, en France et ce depuis plusieurs années, **la purge est devenue la règle dans le cadre d'une surveillance des eaux souterraines**, or, il convient aujourd'hui de rappeler que sa réalisation a aussi des inconvénients et que la norme AFNOR NF X 31-615 qui s'applique (actualisée en 2017) permet d'adapter le protocole au site étudié (cf. notamment la sous-section 6.7.7).

Ainsi, considérant que malgré les travaux menés sur cette question durant plusieurs années il n'est pas envisageable d'illustrer l'ensemble des situations, **l'INERIS propose de retenir une démarche proportionnée afin de juger de la pertinence de mener une purge, spécifique à chaque site**, comprenant une comparaison :

- des résultats obtenus selon différents protocoles sur *a minima* 3 piézomètres, avec purge et sans purge, notamment en réalisant une purge à faible débit (< 1L/mn -> de l'ordre de 0,5 L/mn) ;
- pour une durée *a minima* de deux cycles hydrologiques (2 régimes de hautes eaux et 2 basses eaux).

Le protocole sans purge, établi suite à cette démarche spécifique au site étudié, devra être validé dans le temps par une comparaison menée de nouveau dans le cadre du bilan (quadriennal) sur une à deux campagnes selon la variabilité observée entre deux campagnes. En fonction du site étudié, des enjeux et des substances recherchées, des mesures telles que celle de la turbidité ou encore de la perméabilité des terrains pourront être nécessaires pour étayer la démonstration.

Remarque : en marge de l'exercice de comparaison présenté, l'INERIS a collaboré avec le BRGM afin d'apporter des éléments de réflexion basés sur l'utilisation d'une modélisation numérique (cf. Varljen et al. 2006). L'objectif étant d'étudier et d'illustrer par différentes simulations l'influence sur les concentrations du débit de purge (dont le faible débit), de la position de la pompe immergée au sein de la nappe, etc. Ces résultats seront intégrés à un document spécifique à la purge (à paraître en 2019). Il reprendra en partie des résultats de la comparaison réalisée.

Références liées à cette partie :

ADEME (2014). « Mesure de la qualité des eaux souterraines à l'aide d'échantillonneurs passifs dans le contexte des sites pollués », Programme R&D PASSCITYCHLOR.

AFNOR (2017). NF X 31-615 « Qualité des sols - Méthodes de détection, de caractérisation et de surveillance des pollutions en nappe - Echantillonnage des eaux souterraines dans des forages de surveillance ».

API (2000). n°12 « No purge groundwater sampling. An Approach for Long-Term Monitoring ».

Barcelona M. J., Varljen M. D., Puls R W., Kaminski D. « Ground Water Purging and Sampling Methods : History vs. Hysteria ». Ground Water Monitoring & Remediation.

BRGM (2009). « Maîtrise et Gestion des Impacts des polluants sur la qualité des Eaux Souterraines (ESO) ».

Environnement Agency U.K. (2014). LFTGN 02 « Guidance on monitoring of landfill leachate, groundwater and surface water ».

Environmental Protection Agency U.S. (2013). « Groundwater Sampling ».

Gomo M., Vermeulen D. (2015), « An investigative comparison of purging and non-purging groundwater sampling methods in Karoo aquifer monitoring wells ». Journal of African Earth Sciences.

ISO (2009). ISO 5667-11 « Qualité de l'eau - Échantillonnage - Partie 11 : lignes directrices pour l'échantillonnage des eaux souterraines ».

Kaminski D. (2010). « Low-Flow Ground Water Sampling: An Update on Proper Application and Use ». QED Environmental Systems Inc.

Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs du Québec - Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (2011). « Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales : cahier 3 – Échantillonnage des eaux souterraines ».

Varljen M.D., Barcelona M.J., Obereiner J., Kaminski D. (2006). « Numerical simulations to Assess the Monitoring Zone Achieved during Low-Flow Purging and Sampling ». Ground Water Monitoring & Remediation.

Vroblesky D.A. and Campbell T.R (2001). « Equilibration Times, Compound Selectivity, and Stability of Diffusion Samplers for Collection of Ground-Water VOC Concentrations ». Advances in Environmental Research.

Partie 2

INFLUENCE DE LA FILTRATION ET DE LA DECANTATION

Dans le cadre d'un prélèvement d'eau souterraine à partir d'un piézomètre, quelle est l'influence de la préparation, du conditionnement de l'échantillon, sur les concentrations obtenues par le laboratoire ?



Principales recommandations actuelles :

- la Norme AFNOR NF X 31-615 et la Norme ISO 5667-11 recommandent la filtration sur site pour l'analyse des ETM afin de disposer d'un échantillon représentatif (analyse de la fraction dissoute $<0,45\mu\text{m}$ considérant la spéciation des ETM). Il est également mentionné dans le document AFNOR de ne pas filtrer dans les cas suivants (liste non exhaustive) : ETM Totaux, COT, composés organiques volatils, HAP.
- dans l'ensemble, les documents techniques consultés reprennent cette recommandation concernant la filtration des ETM sur site (BRGM, 2009 ; Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 2011 ; EPA 2013).



Le conditionnement englobe les manipulations de filtration, de stabilisation et de préparation au stockage de l'échantillon. L'objectif est de maintenir la représentativité de l'échantillon jusqu'au moment de l'analyse. Pour certains paramètres, le fait de filtrer ou non, d'acidifier ou non, et l'ordre dans lequel ces opérations sont effectuées va modifier les concentrations obtenues. En effet, selon le cas, le résultat d'analyse portera sur des espèces différentes d'un même élément. Ainsi, la filtration conduira à rechercher uniquement les substances dissoutes, tandis que l'absence de filtration donnera accès à une concentration totale (phase dissoute et phase particulaire). En fonction du comportement des substances recherchées, en particulier la sorption pour les HAP ou l'échange cationique pour les ETM, la variabilité des résultats peut être importante.

Les procédures de conditionnement doivent donc être définies avec le laboratoire d'analyse.

Pour aller plus loin :

« Acquisition des données d'entrée des modèles analytiques ou numériques de transferts dans les sols et les eaux souterraines » INERIS, 2005 & « Recommandations pour la modélisation des transferts des éléments traces métalliques dans les sols et les eaux souterraines » INERIS, 2006

Au-delà de ces considérations sur le comportement des polluants recherchés, tout dépend de l'objectif poursuivi :

- lorsque l'objectif est de connaître la qualité de l'eau pour en faire usage (captage d'alimentation en eau potable, puits de particulier) ou la rejeter au

milieu naturel, c'est la concentration totale du paramètre qui est recherchée – pas de filtration ;

- lorsque l'objectif est d'étudier un impact en aval hydraulique et de caractériser la fraction susceptible de migrer avec l'eau souterraine – filtration.

L'US EPA (EPA, 2013) recommande pour une surveillance de « routine » de réaliser un double échantillonnage. Sans aller jusqu'à proposer de la rendre permanente, une telle approche s'avère d'ores et déjà nécessaire et pratiquée dans le cadre de l'étude d'une pollution, où peuvent être menés de fronts :

- une Interprétation de l'Etat des Milieux (IEM) à partir de mesures de la qualité de l'eau souterraine au niveau d'un puits de particulier et d'information quant à la présence d'ETM (totaux : pas de filtration) ;
- une modélisation de transfert, à partir de mesures portant sur la fraction dissoute en ETM (filtration à 0,45 µm).

Une étude de l'ADEME datant de 2005 mettait en avant que la filtration était une nécessité pour étudier une pollution par des ETM. *A contrario*, des travaux menés sur les HAP conduisaient à recommander de ne pas filtrer les échantillons et de privilégier une analyse sur eau brute pour ces substances.

Plus récemment, au cours de l'année 2010, des partenaires d'AQUAREF (LNE, BRGM et INERIS) ont réalisés une étude sur l'influence de la filtration sur site sur l'analyse des métaux dissous dans les cours d'eau, les plans d'eau et les eaux souterraines (AQUAREF, 2011). Trois sites, avec un ouvrage chacun (1 piézomètre et 2 puits de captage AEP), ont été concernés par le volet eau souterraine. Les résultats acquis sur les ETM amènent les auteurs à recommander de privilégier une filtration sur site à une filtration au laboratoire (en particulier considérant le fer et l'arsenic).

Ces éléments conduisent à penser que **la préparation de l'échantillon et en particulier la réalisation d'une filtration ont une forte influence sur les résultats, et que la personne en charge de l'interprétation des résultats doit savoir ce qui a été réalisé sur site voire au laboratoire.**

L'INERIS a donc intégré cette question dans le cadre de l'exercice de comparaison débuté en 2014 afin d'illustrer la variabilité des résultats portant en particulier sur les HAP et les ETM (cf. Tableau 4).

Tableau 4 : Données exploitées pour évaluer l'influence de la filtration et de la décantation (cf. Exercice de comparaison, 2014-2017)

	ICPE en cessation d'activité	Site minier en cessation d'activité
	Site 4	Site 5
Typologie aquifère	Alluvial	Alluvial
Principales substances recherchées (familles)	BTEX/HAP	ETM
Nombre de campagnes / question	2	3
Nombre d'ouvrages / question	3	2

Afin d'étudier l'influence de la filtration mais également de la décantation au laboratoire, les échantillons suivant ont été constitués :

- *sans filtration, sans décantation ;*
- *sans filtration, avec décantation ;*
- *avec filtration (sur le terrain), sans décantation ;*
- *avec filtration (au laboratoire), sans décantation.*

Mode de filtration (sur site) :

Différents modes de filtration sont possibles selon la norme AFNOR NF X 31-615 :

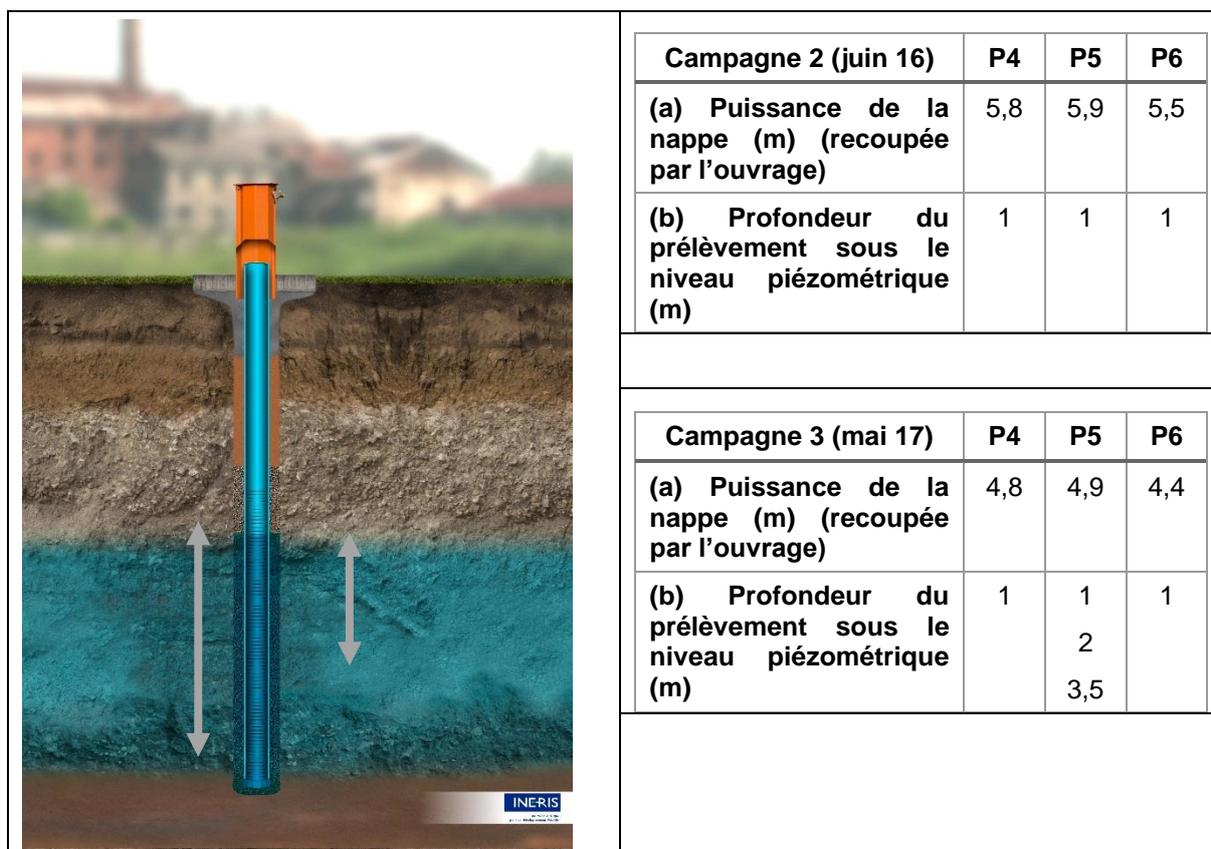
- *la filtration sous vide ;*
- *la filtration sous pression ;*
- *la filtration tangentielle.*

Sur l'ensemble des campagnes menées entre 2014 et 2017, le choix a été fait d'effectuer une filtration (sur site) sous pression à l'aide d'une seringue et d'un filtre à seringue (usage unique), considérant qu'il s'agit actuellement du mode le plus employé par les opérateurs de terrain.

Site 4 - ICPE en cessation d'activité

Protocole de prélèvement : utilisation d'une pompe immergée PP36-LF (Low Flow) pour échantillonnage après une purge. La purge a été réalisée à l'aide de la pompe PP36-LF, à la même profondeur que l'échantillonnage superficiel (niveau 1) et pour un débit de l'ordre de 4 L/mn (critères d'arrêt : stabilisation des paramètres physico-chimiques et *a minima* 3 volume de puits).

Ci-dessous sont reportées sur l'illustration d'un piézomètre la puissance de la nappe (recoupée par l'ouvrage) et la profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique.



Résultats d'analyses : les concentrations présentées par la suite ont été déterminées avec une incertitude fournie par le laboratoire (EUROFINS), avec pour les substances les plus citées dans le texte : Naphtalène 0,4 ; Acénaphène 0,4 ; Fluorène 0,3. Cette information est reportée sur les graphiques. Dans le tableau, le chiffre « 0 » correspond à « <LQ » (Limite de Quantification, également fournie par le laboratoire).

Les concentrations les plus élevées ont été mesurées pour l'acénaphène et le naphthalène. Les trois illustrations ci-après (cf. Figure 30, Figure 31 et Figure 32) montrent la variabilité obtenue en différents ouvrages, P4, P6 puis P5 (avec « Dec. » pour décantation au laboratoire et « Filt. » pour filtration au laboratoire ou sur le terrain).

Par rapport à un échantillon non filtré, non décanté, la réalisation d'une décantation au laboratoire ou d'une filtration (sur site ; au laboratoire) conduit ici à une baisse significative :

- de 30 à 70 % de la teneur en naphthalène en P4 ;
- de 75 à 90 % de la teneur en naphthalène en P6 (concentrations plus élevées qu'en P4) ;
- de 80 à 90 % de la teneur en acénaphène en P5.

Ces taux varient selon les campagnes, il s'agit seulement de montrer ici que la préparation de l'échantillon a une forte influence sur les concentrations obtenues de la part du laboratoire.

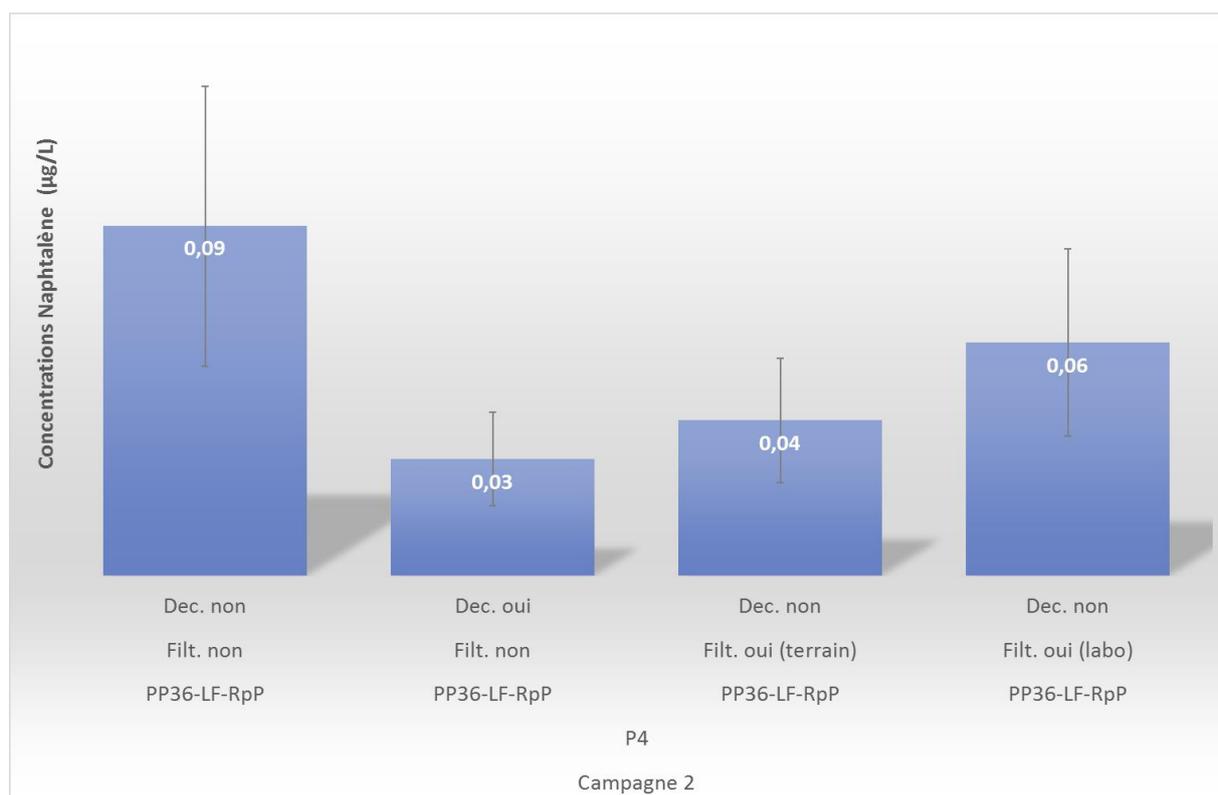


Figure 30 : Site 4 Influence de la filtration, décantation – Concentrations en naphthalène sur 1 piézomètre (P4) pour la seconde campagne (PP36-LF)

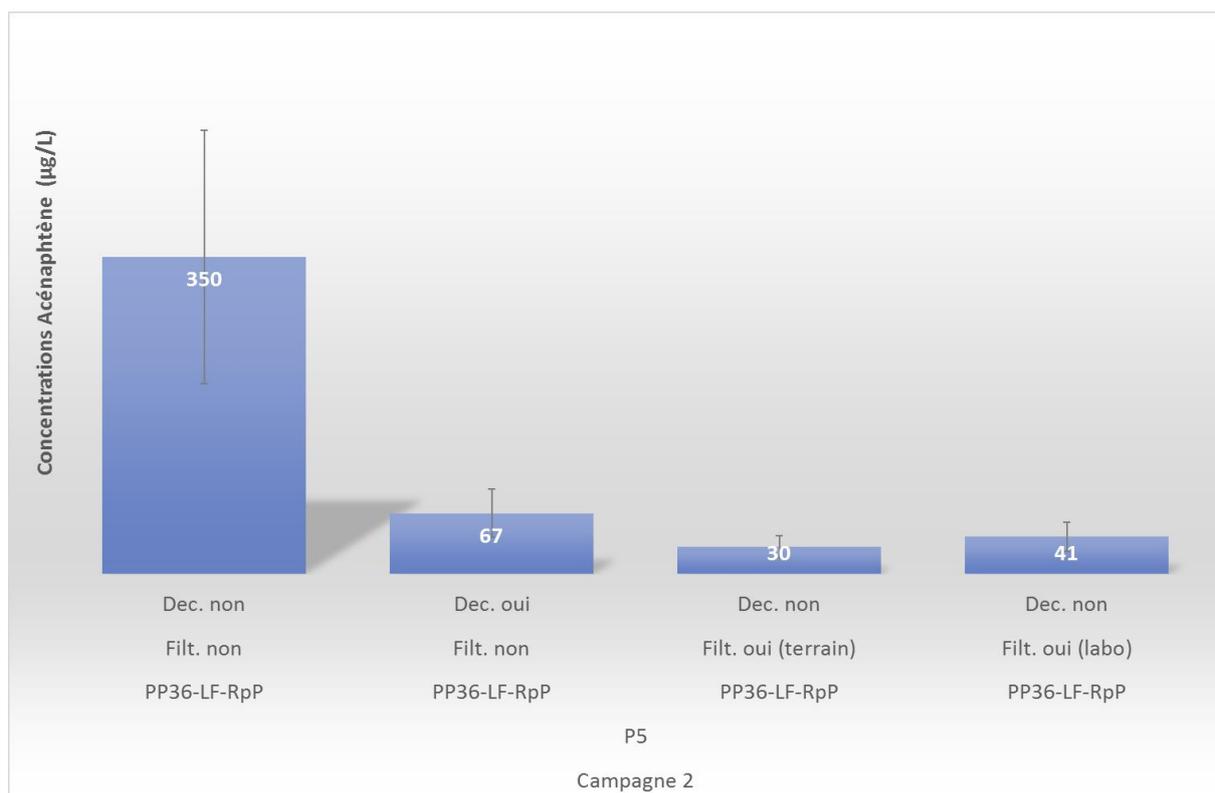


Figure 31 : Site 4 Influence de la filtration, décantation – Concentrations en naphthalène sur 1 piézomètre (P5) pour la seconde campagne (PP36-LF)

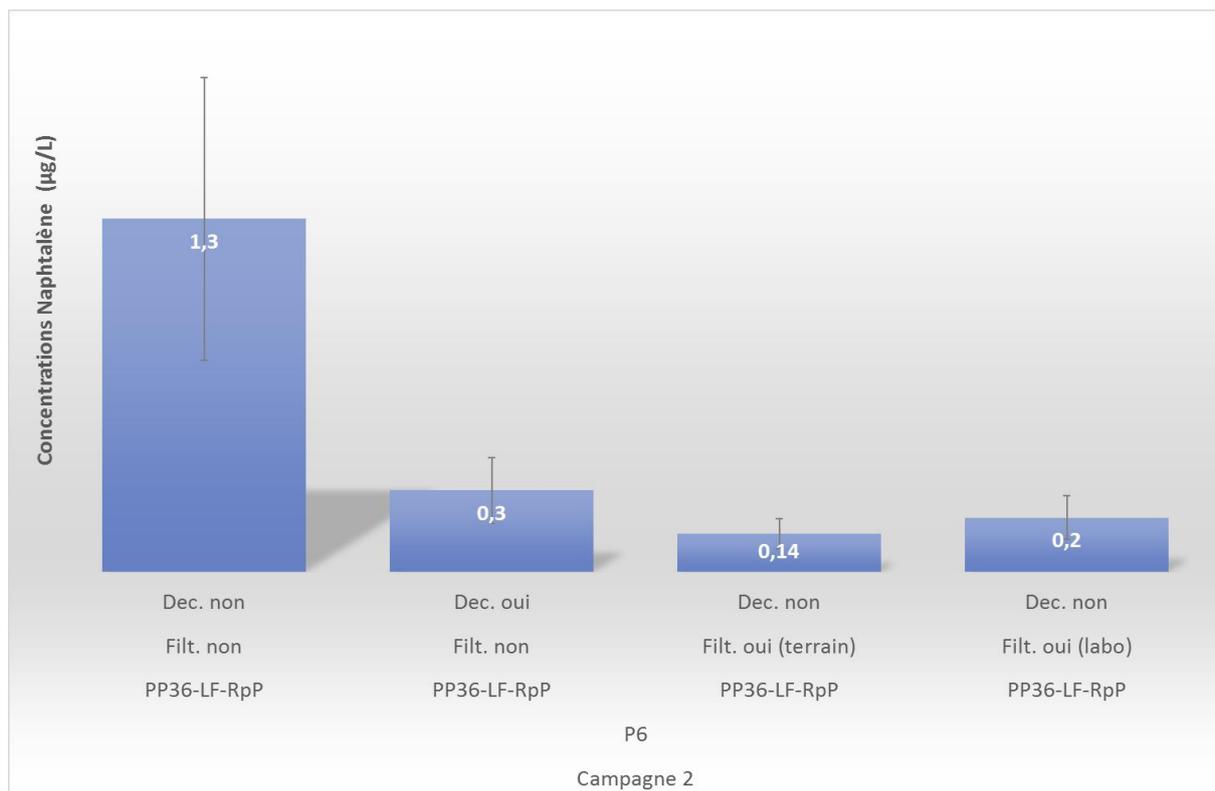


Figure 32 : Site 4 Influence de la filtration, décantation – Concentrations en naphtalène sur 1 piézomètre (P6) pour la seconde campagne (PP36-LF)

Au cours de la dernière campagne en P5, la filtration et la décantation ont été étudiées sur des prélèvements réalisés à 3 niveaux de la nappe. Les résultats en Figure 33 mettent en évidence des variations, notamment pour le naphtalène, l'acénaphène ou encore le fluorène. L'échantillon non filtré et non décanté n'est pas toujours celui qui conduit à la concentration la plus élevée.

A noter que l'ensemble des résultats ne montre pas de différence majeure entre une filtration sur site ou au laboratoire.

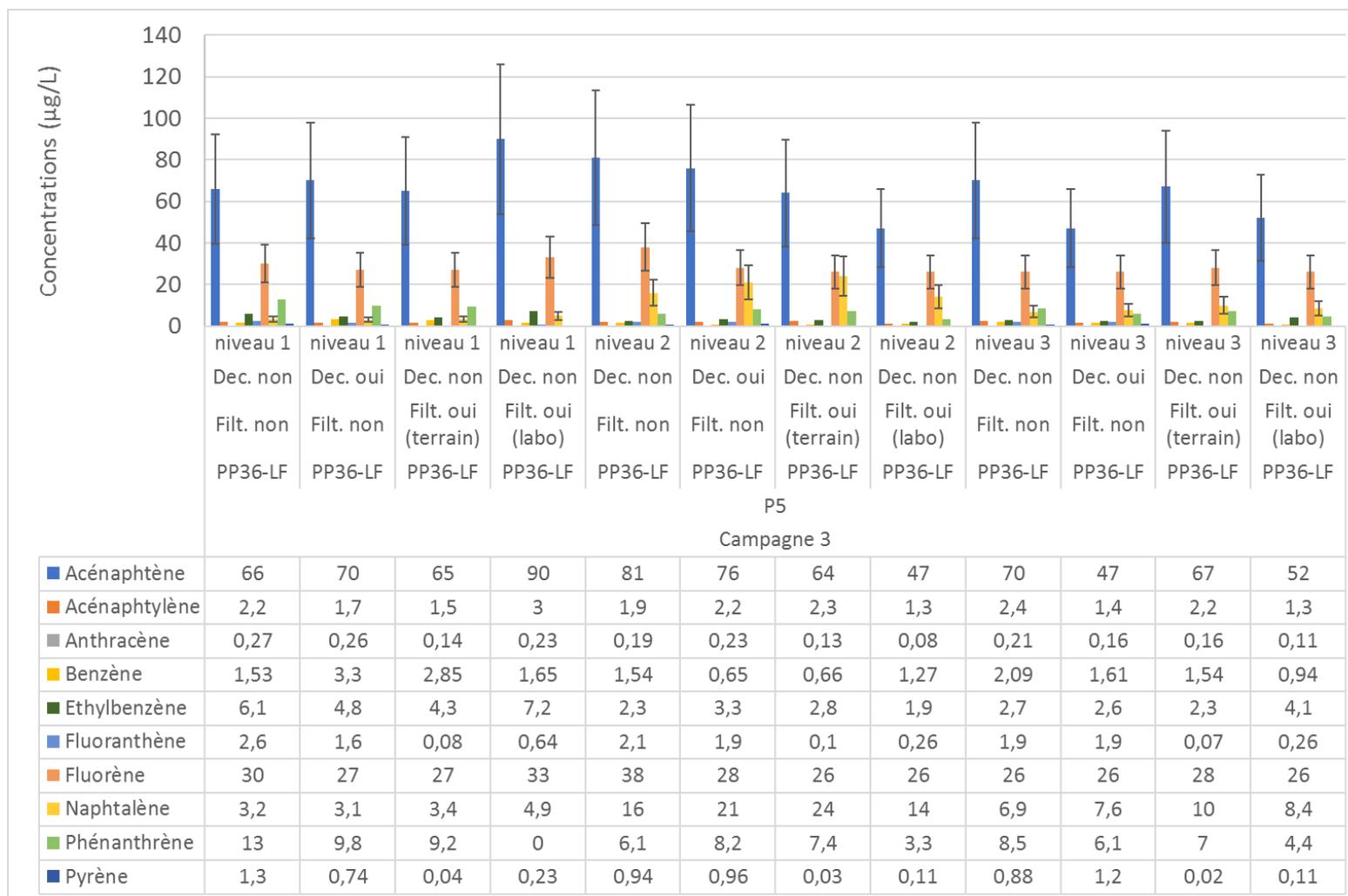


Figure 33 : Site 4 Influence de la filtration, décantation – Concentrations en substances hydrocarbures identifiées (>LQ) sur 1 piézomètre (P5) pour la troisième campagne (PP36-LF)

Au cours de la dernière campagne, des mesures de turbidité ont pu être réalisées (Aqua TROLL 600, cf. Tableau 5).

Tableau 5 : Site 4 Influence de la filtration, décantation – évolution de la turbidité au cours de la campagne 3

	P4 (Turbidité, NTU)	P5 (Turbidité, NTU)	P6 (Turbidité, NTU)
Début de purge	3,02	3,16	10,08
Fin de purge	3,01	3,14	3,08

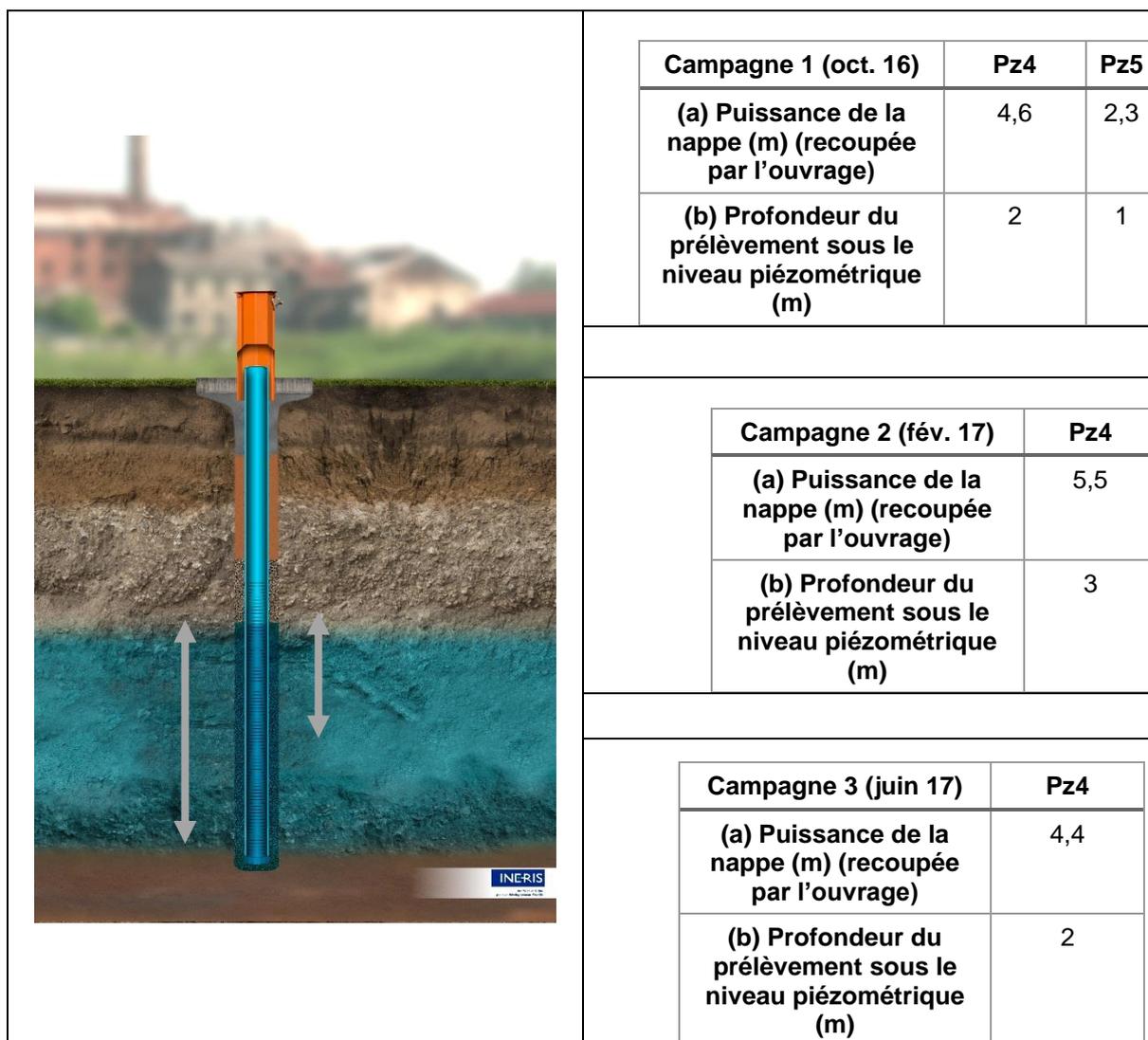
Sur les 3 ouvrages étudiés les valeurs sont inférieures à 10 NTU après purge ce qui caractérise une faible turbidité.

Les données acquises sur ce site pour des HAP en particulier illustrent l'influence de la préparation des échantillons, filtration ou décantation. La variabilité des résultats est importante bien que l'eau souterraine soit ici faiblement turbide, donc peu chargée en particules (d'après les mesures effectuées lors de la dernière campagne).

Site 5 - site minier en cessation d'activité

Protocole de prélèvement : utilisation d'une pompe immergée PP36-LF (Low Flow) pour échantillonnage après une purge. La purge a été réalisée à l'aide de la pompe PP36-LF, à la même profondeur que l'échantillonnage et pour un débit de l'ordre de 4 L/mn (critères d'arrêt : stabilisation des paramètres physico-chimiques et *a minima* 3 volume de puits).

Ci-dessous sont reportées sur l'illustration d'un piézomètre la puissance de la nappe (recoupée par l'ouvrage) et la profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique.



Résultats d'analyses : les concentrations présentées par la suite ont été déterminées avec une incertitude fournie par le laboratoire (EUROFINS) : Pb 0,2 ; Zn 0,25. Cette information est reportée sur les graphiques. Dans le tableau, le chiffre « 0 » correspond à « <LQ » (Limite de Quantification, également fournie par le laboratoire).

Les concentrations supérieures à la LQ obtenus pour les Eléments Traces Métalliques (ETM) en Pz4 au cours de 3 campagnes et en Pz5 au cours de la première (avant sa destruction) sont reportées ci-après.

Seule la première campagne a permis de mettre en évidence la présence de plomb mais à des teneurs faibles. Il s'avère néanmoins que la filtration et *a fortiori* la décantation conduisent à fortement abaisser les teneurs en plomb et en zinc. La filtration, sur site et en laboratoire, conduisant même à ne plus observer ces éléments.

Au cours des deux autres campagnes en Pz4, le zinc est le seul ETM quantifié mais les concentrations sont plus faibles. Comme pour les HAP sur le site précédent, l'échantillon non filtré et non décanté n'est pas toujours celui qui conduit à la concentration la plus élevée (cf. campagne 2).

L'ensemble des résultats présenté en Figure 34 ne montre pas de différence majeure entre une filtration sur site ou au laboratoire.

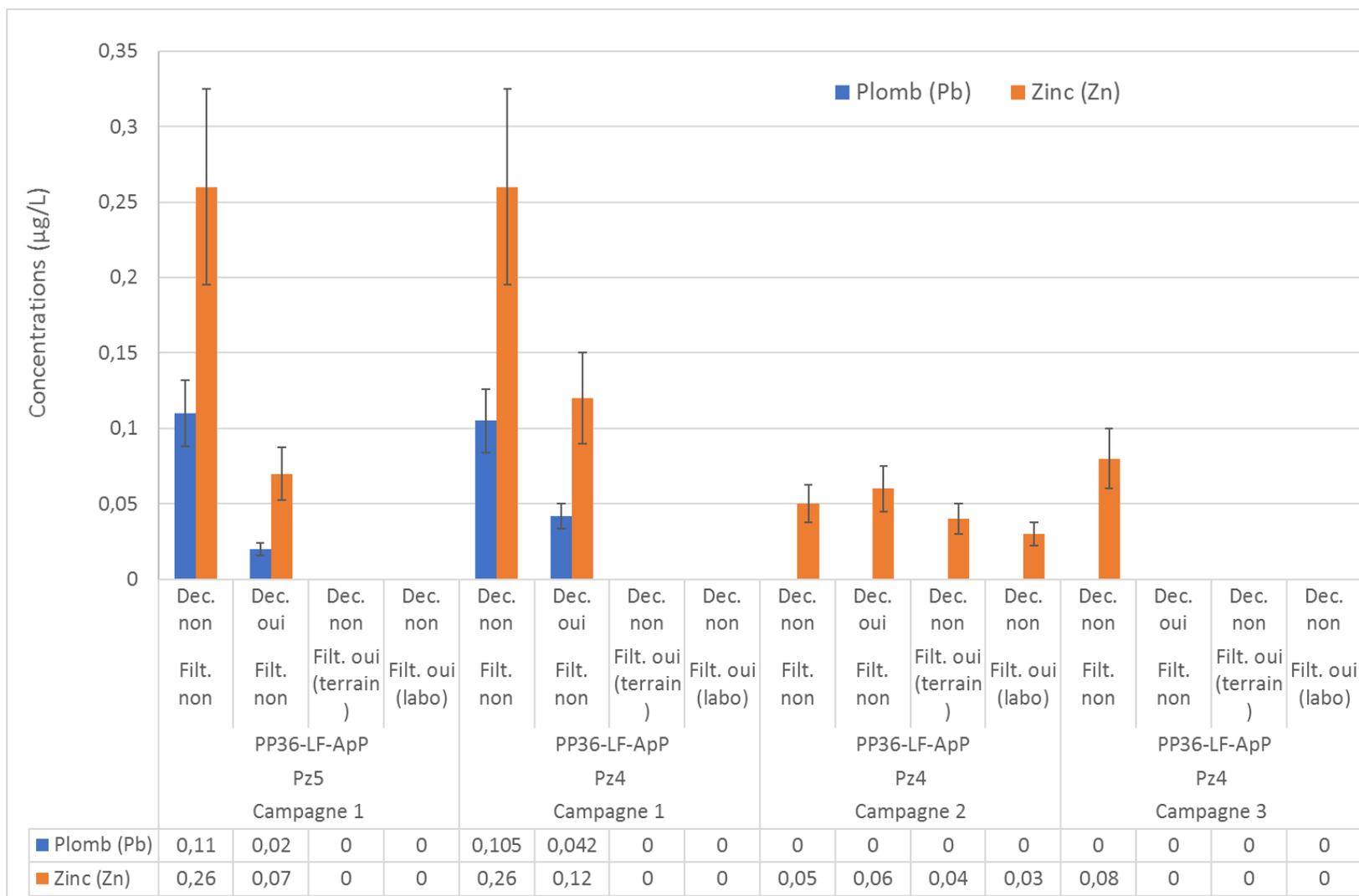


Figure 34 : Site 5 Influence de la filtration, décantation – Concentrations en Pb et Zc sur 2 piézomètres pour 3 campagne (PP36-LF)

En marge de la question de l'influence de la filtration, 3 filtres de terrain ont été testés au cours d'un prélèvement en Pz4 (cf. Figure 35). Au regard des résultats du laboratoire illustrés ci-dessous, aucune variation n'a été observée concernant le zinc (seul ETM quantifié pour cette campagne, avec une LQ à 0,02 µg/L).

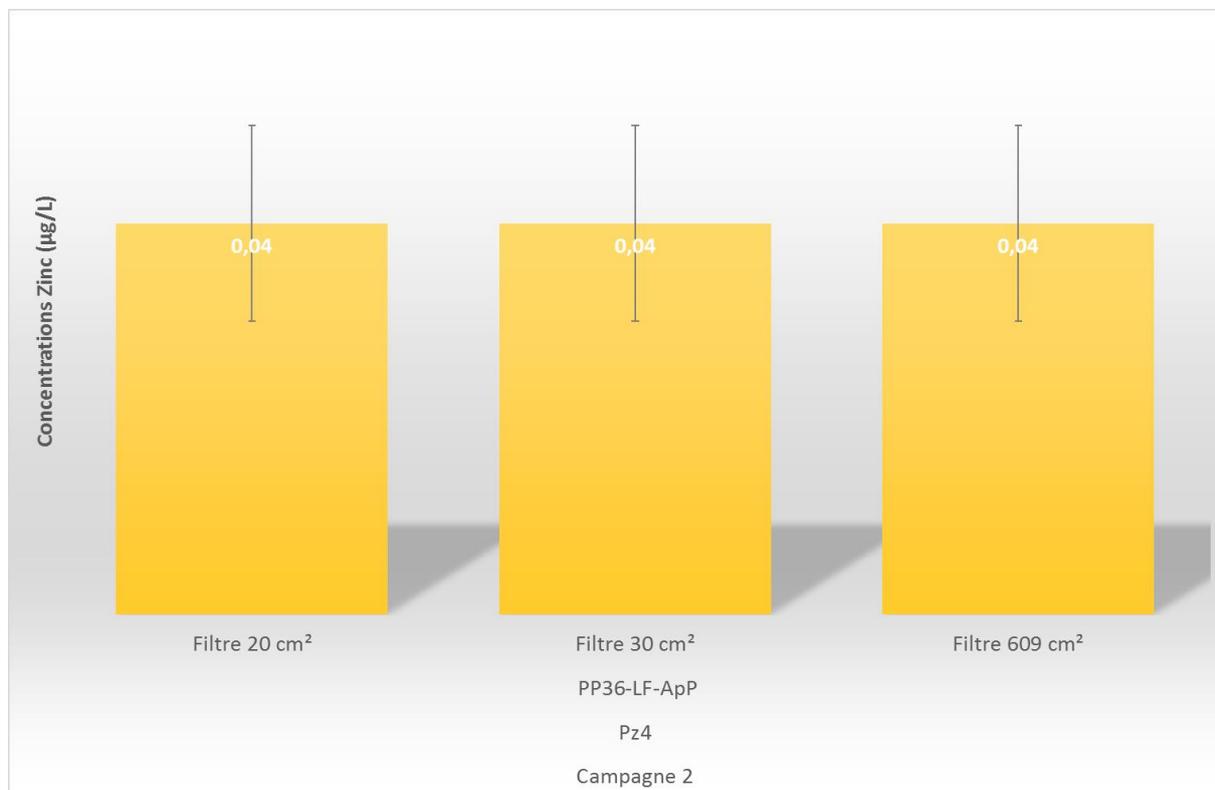


Figure 35 : Site 5 Influence de la filtration, décantation – Concentrations en Zn sur 1 piézomètre (Pz4) selon 3 filtres utilisés pour la troisième campagne (PP36-LF)

Pour la seconde et la troisième campagne en Pz4, une sonde multi-paramètres (Aqua TROLL 600) a été utilisée afin de mesurer notamment la turbidité, les résultats des diagraphies sont présentés en Figure 36 et Figure 37 (profondeur en abscisse en m et valeur en ordonnée).

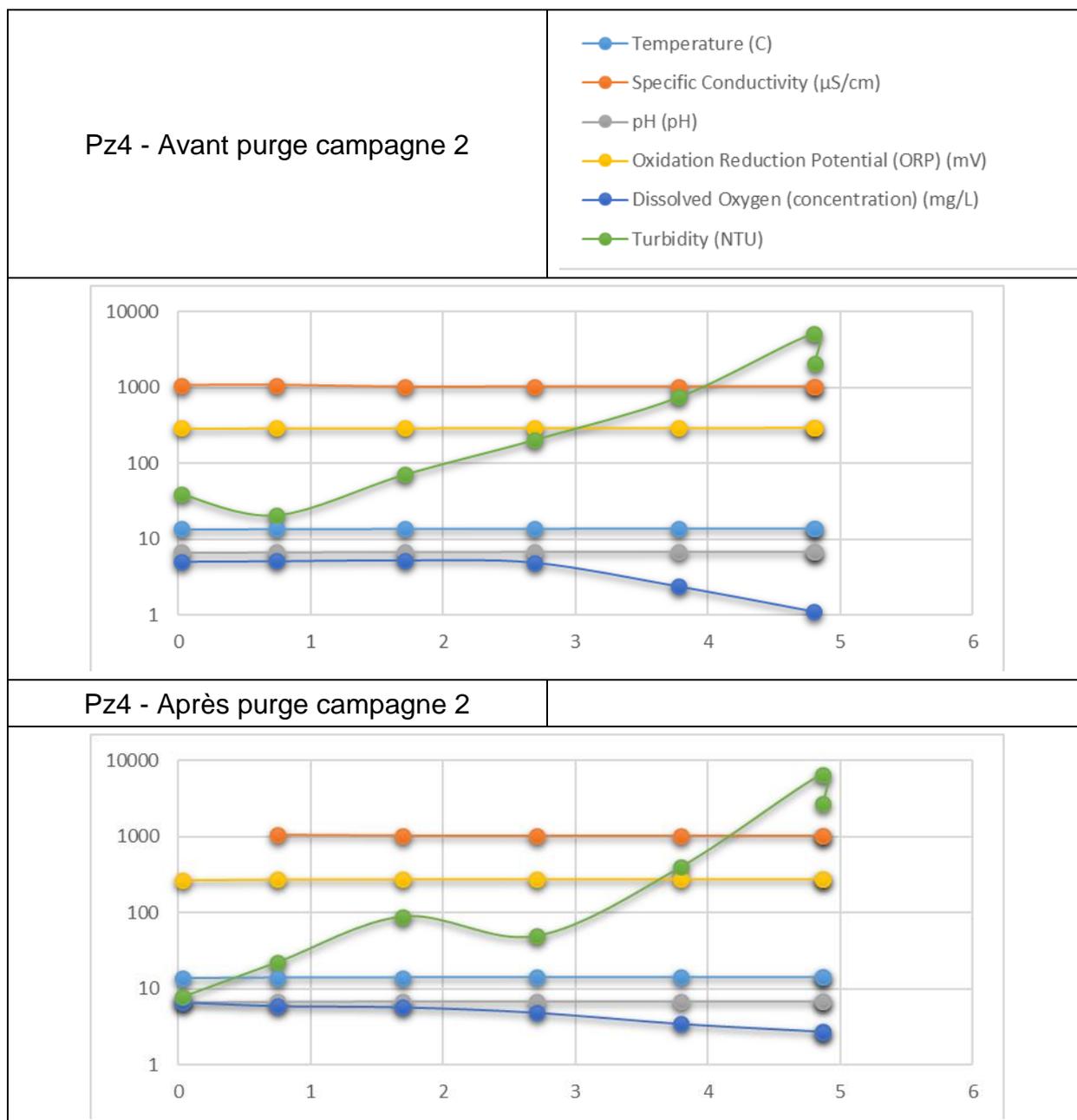


Figure 36 : Site 5 Influence de la filtration, décantation – Diagraphies sur Pz4 pour la campagne 2

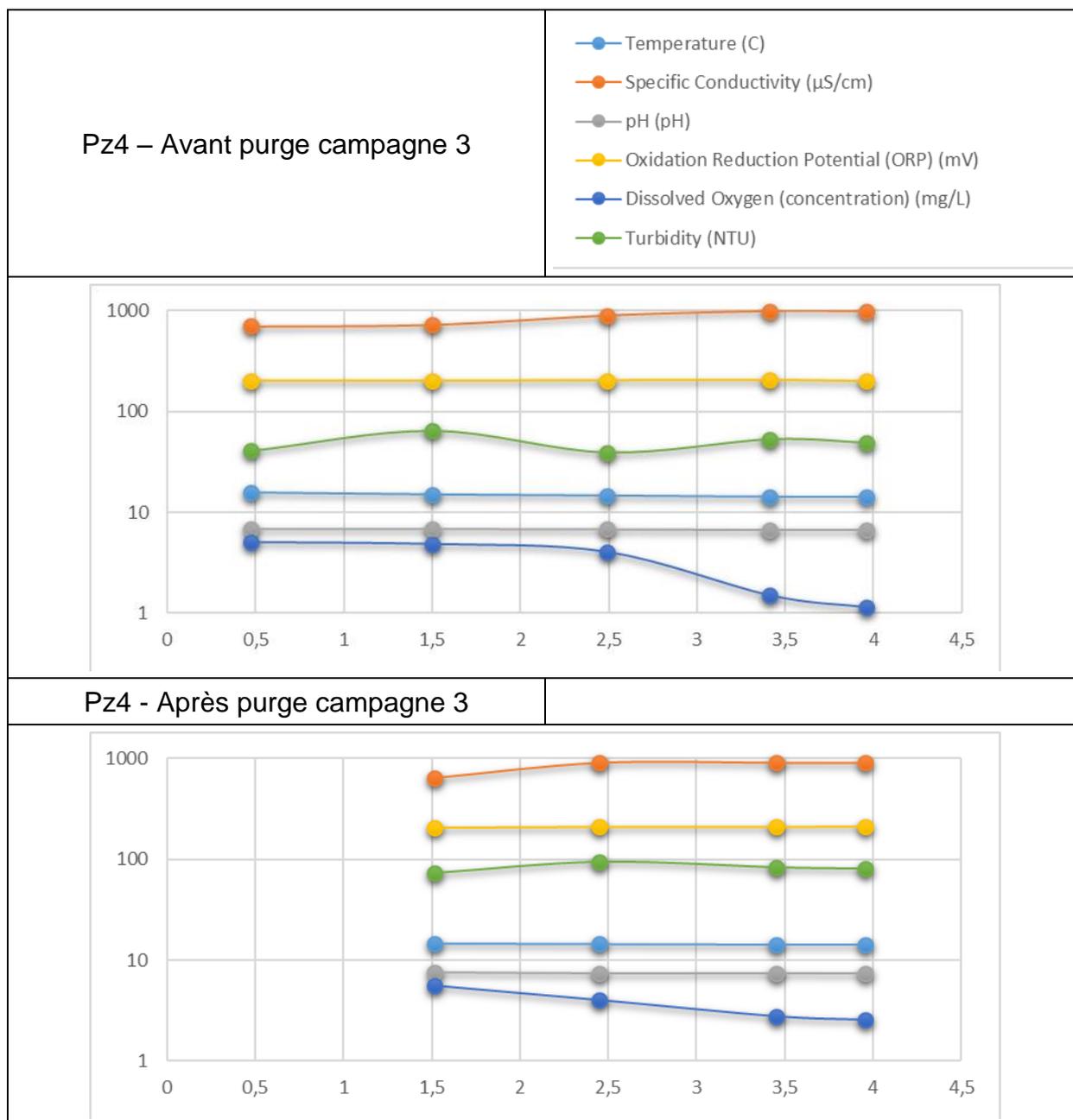


Figure 37 : Site 5 Influence de la filtration, décantation – Diagraphies sur Pz4 pour la campagne 3

Ces diagraphies montrent, avant et après la purge, une turbidité pouvant atteindre de très fortes valeurs en fond d'ouvrage, en particulier au cours de la campagne 2. Ces mesures traduisent donc la présence de particules au sein du piézomètre.

Les différences observées pourraient ainsi être attribuées à la présence plus importante de particules à certains niveaux (cf. mesures de la turbidité : particules contenant des ETM du fait d'échanges cationiques).

Les données acquises sur ce site concernant les ETM sont ponctuelles (notamment pour le plomb), mais elles illustrent l'influence de la préparation des échantillons, filtration ou décantation lorsque des ETM sont recherchés. Une forte variabilité des résultats est ainsi observée, en particulier lorsqu'une filtration est réalisée, ce constat est pour l'INERIS lié à la présence de nombreuses particules d'après les mesures effectuées lors de la deuxième et de la troisième campagne.

Conclusion, points à faire ressortir :

Sur 2 sites et pour plusieurs campagnes, considérant HAP et ETM, classiquement recherchées dans le domaine des ICPE et des sites pollués, l'INERIS a réalisé une comparaison entre les concentrations obtenues selon qu'une filtration et une décantation soient réalisées ou non.

Des variations significatives ont été établies pour :

- le Site 4 (HAP), pour l'ensemble des résultats portant sur les HAP ;
- le Site 5 (ETM), pour l'ensemble des résultats portant sur les ETM (plomb, zinc).

Les graphiques présentés dans ce document permettent d'illustrer l'influence de la filtration et/ou de la décantation de l'échantillon sur la concentration obtenue en HAP et en ETM. Ces substances, respectivement organiques et inorganiques, ont été étudiées car elles sont potentiellement affectées par deux facteurs au cours de leur migration dans les eaux souterraines :

- la sorption sur la matière organique pour les HAP ;
- l'échange cationique en présence d'argile pour les ETM.

Intégrer cette question à l'exercice de comparaison mené avait pour ambition de rappeler l'influence de ces facteurs (ou phénomènes) mais également **l'obligation pour le demandeur de se rapprocher du laboratoire afin de s'entendre sur la préparation des échantillons, en fonction de l'objectif de l'étude réalisée.**

En effet, certains laboratoires procèdent actuellement à une décantation systématique de l'échantillon et à une filtration sur demande, tandis que le laboratoire EUROFINS (partenaire) ne réalise ni filtration ni décantation en l'absence de demande explicite (homogénéisation de l'échantillon avant l'essai).

Références liées à cette partie :

ADEME (2005). « Représentativité des échantillons d'eau prélevés en forages de contrôle ».

AFNOR (2017). NF X 31-615 « Qualité des sols - Méthodes de détection, de caractérisation et de surveillance des pollutions en nappe - Echantillonnage des eaux souterraines dans des forages de surveillance ».

AQUAREF (2011). « Etude de l'influence de la filtration sur site pour l'analyse des métaux dissous dans les cours d'eau, les plans d'eau et les eaux souterraines ».

BRGM (2009). « Maîtrise et Gestion des Impacts des polluants sur la qualité des Eaux Souterraines (ESO) ».

Environmental Protection Agency U.S. (2013). « Groundwater Sampling ».

Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs du Québec - Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (2011). « Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales : cahier 3 – Échantillonnage des eaux souterraines ».

INERIS (2006). « Recommandations pour la modélisation des transferts des éléments traces métalliques dans les sols et les eaux souterraines ».

INERIS (2005). « Acquisition des données d'entrée des modèles analytiques ou numériques de transferts dans les sols et les eaux souterraines ».

ISO (2009). ISO 5667-11 « Qualité de l'eau - Échantillonnage - Partie 11 : lignes directrices pour l'échantillonnage des eaux souterraines ».

Partie 3

INFLUENCE DE LA VOLATILISATION

Dans le cadre d'un prélèvement d'eau souterraine portant sur une substance volatile, quel outil et protocole pour limiter une éventuelle volatilisation ?



Principales recommandations actuelles :

- la Norme AFNOR NF X 31-615 et la Norme ISO 5667-11 émettent des recommandations pour limiter la perte de substances volatiles et disposer d'un échantillon représentatif. Ces documents déconseillent en particulier l'utilisation de certains outils (dont le bailer qui est ouvert dans sa partie supérieure) et demandent de limiter le débit de prélèvement en cas d'utilisation d'une pompe.
- dans l'ensemble, les documents techniques consultés reprennent ces recommandations et citent bailer et pompe péristaltique comme outils non adaptés au prélèvement de substances volatiles (Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 2011 ; EPA 2013).



Dans le cadre d'un prélèvement d'eau souterraine la volatilisation de certaines substances peut conduire à sous-estimer la quantité présente et *in fine* le risque sanitaire associé. La volatilisation est un mécanisme qui concerne en particulier les Composés Organiques Volatils (COV) tels que le benzène ou encore le trichloroéthylène.

Le guide du projet FLUXOBAT, auquel a participé l'INERIS, précise que les COV constituent un ensemble complexe et qu'en France, la définition des COV est donnée par l'arrêté ministériel du 2 février 1998 : « *Tous les composés contenant du carbone et de l'hydrogène, dans lesquels l'hydrogène peut être partiellement ou totalement remplacé par des halogènes, du soufre ou de l'azote, à l'exception des oxydes de carbones et des carbonates. Les COV ont une pression de vapeur supérieure ou égale à 0,01 kPa à 293.15°K (20°C).* »

Le Tableau 6 présente les critères retenus pour identifier une substance volatile dans le cadre d'un récent guide technique portant sur la caractérisation des substances volatiles (BRGM, INERIS 2016).

Tableau 6 : Critères d'appréciation de la volatilité des produits organiques (le terme pression de vapeur correspond ici à la pression de vapeur saturante)

Paramètre	Symbole	Unité	Critères (à 20 – 25°C)	Interprétation
• Pression de vapeur	P_v	[Pa]	$P_v < 133$ $P_v \geq 133$	\Rightarrow non volatil \Rightarrow volatil
• Point d'ébullition	T_e	[°C]	$T_e < 80$ $80 \leq T_e < 200$ $T_e \geq 200$	\Rightarrow très volatil \Rightarrow volatil \Rightarrow faiblement volatil
• Constante de Henry	k_H	[Pa.m ³ / mol]	$K_H < 100$ $100 \leq k_H < 500$ $k_H \geq 500$	\Rightarrow faiblement volatil \Rightarrow volatil \Rightarrow très volatil

Pour aller plus loin :

Cf. 2.2 du « Guide pratique pour la caractérisation des gaz du sol et de l'air intérieur en lien avec une pollution des sols et/ou des eaux souterraines » BRGM/INERIS, 2016

Lors d'un projet portant sur « La représentativité des échantillons d'eau prélevés en forages de contrôle » (ADEME, 2005), des tests ont été menés par différentes équipes sur les matériels et procédures de prélèvement. Concernant les COV et un prélèvement à la pompe, le protocole rédigé indique que « *Le prélèvement se fait à débit faible (maximum de l'ordre de 0,3 m³/h) pour limiter les pertes de produits volatils (...).* » (ce débit équivaut à 5 L/mn).

Au niveau international, le document de l'US-EPA intitulé « Ground-Water Sampling Guidelines for Superfund and RCRA Project Managers » (2002), apporte également des informations spécifiques aux volatils, certaines complètent ce qui précède, et en particulier ce document recommande en page 6 :

- le recours au même dispositif utilisé pour purger et échantillonner ;
- la descente d'une pompe immergée doit s'effectuer le plus lentement possible.

Une procédure basée sur le prélèvement à faible débit est décrite en annexe de ce document. Cette méthode de prélèvement est également préconisée par le Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec. En effet, un « Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales : Cahier 3 – Échantillonnage des eaux souterraines » de 2012 fournit des préconisations pour le prélèvement des volatils. Il indique en page 27 que « *pour l'analyse des composés volatils, le contact avec l'air doit être évité le plus possible, tant pour empêcher l'introduction fortuite de contaminants atmosphériques que pour prévenir la fuite des contaminants en solution dans l'eau échantillonnée vers l'atmosphère. La technique de prélèvement doit donc minimiser le rabattement dans le puits et le contact de l'eau échantillonnée avec l'air.* ».

Ces éléments conduisent à penser que selon l’outil et le protocole de prélèvement suivi **la volatilisation peut avoir une influence sur les résultats. Toutefois, l’INERIS n’a pas trouvé de données récentes sur cette question, or, les pratiques de prélèvement ont évolué, en particulier le débit de prélèvement n’est plus aussi élevé qu’il y a une dizaine d’années.** L’INERIS a donc intégré cette question dans le cadre de l’exercice de comparaison débuté en 2014 afin d’illustrer la variabilité des résultats portant sur les BTEX, COHV et le naphthalène (semi-volatile, HAP) voire recommander un outil et un protocole.

Tableau 7 : Données exploitées pour évaluer l’influence de la volatilisation (cf. Exercice de comparaison, 2014-2017)

	ICPE en activité	ICPE en activité	ICPE en activité (BIODÉPOL)	ICPE en cessation d’activité	Cuve exp.
	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4	Cuve
Typologie aquifère	Alluvial	Crayeux	Alluvial	Alluvial	Alluvial
Principales substances recherchées (familles)	COHV	BTEX/HAP	BTEX/HAP	BTEX/HAP	Benzène
Nombre de campagnes / question	2	4	2	3	3
Nombre d’ouvrages / question	3	3	4	3	3

La comparaison réalisée ci-après porte sur des résultats acquis après purge. A noter que sur l’ensemble des campagnes menées entre 2014 et 2017 le choix a été fait d’effectuer une purge statique, considérant qu’il s’agit actuellement du mode de purge le plus employé par les opérateurs de terrain.

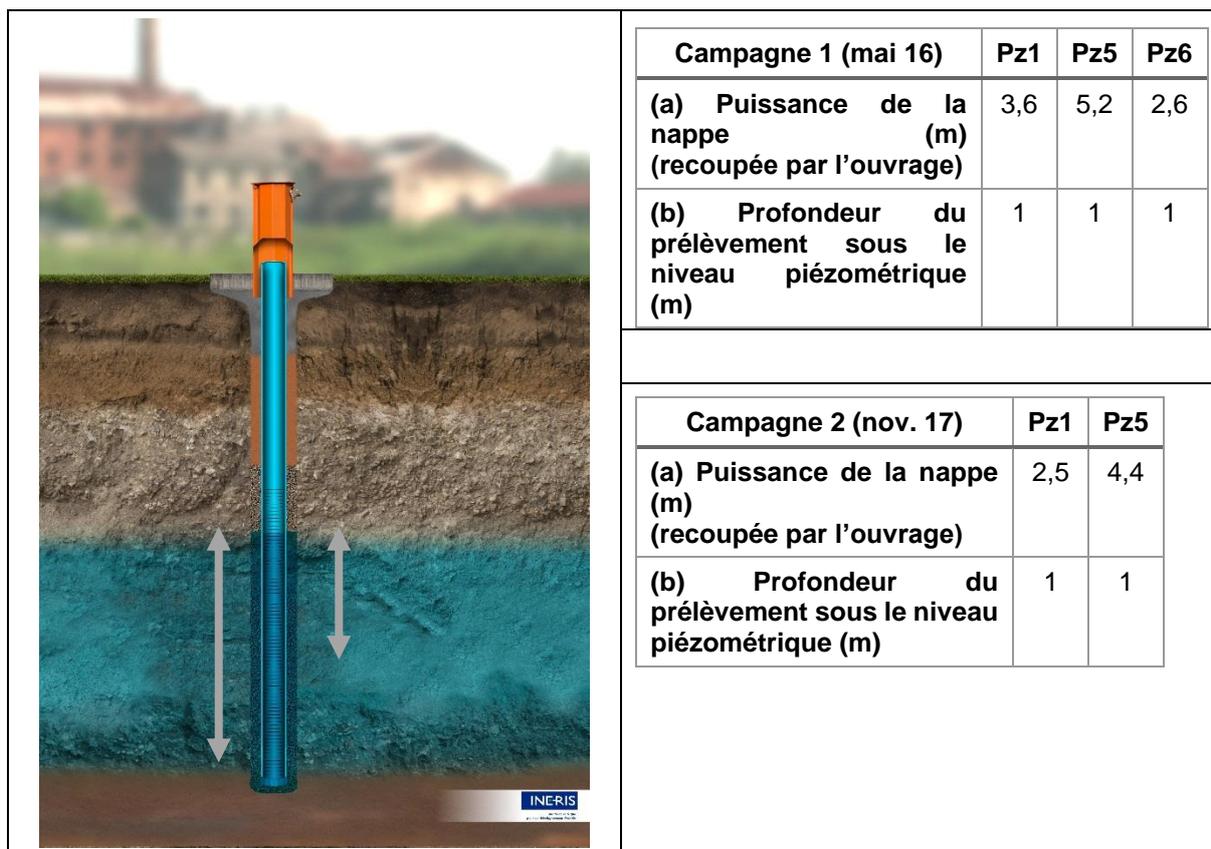
Site 1 - ICPE en activité

Protocole de prélèvement : utilisation d'un bailer et d'une pompe immergée pour échantillonnage après une purge. La purge a été réalisée à l'aide de la pompe PP36-LF, à la même profondeur que l'échantillonnage et pour un débit de l'ordre de 4 L/mn (critères d'arrêt : stabilisation des paramètres physico-chimiques et *a minima* 3 volume de puits).

Selon les ouvrages, jusqu'à 3 outils ont été employés (un préleveur à usage unique et deux pompes immergées). Le préleveur à usage unique ou bailer donne accès au premier mètre de la colonne d'eau (de la nappe). Les pompes immergées sont ici de deux types et outre le diamètre et la longueur de l'outil, le paramètre qui varie selon le dispositif employé est le débit de prélèvement :

- pompe PP36 avec système « Low Flow », débit de prélèvement modulable (<1 L/mn) ;
- pompe Gigant, débit non modulable (de l'ordre de 4,5 L/mn).

Ci-dessous sont reportées sur l'illustration d'un piézomètre, la puissance de la nappe (recoupée par l'ouvrage) et la profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique.



Résultats d'analyses : les concentrations présentées par la suite ont été déterminées avec une incertitude fournie par le laboratoire (EUROFINS) : cis 1,2-Dichloroéthylène 0,4 ; Tétrachloroéthylène 0,45 ; Trichloroéthylène 0,4. Cette information est reportée sur les graphiques. Dans les tableaux, le chiffre « 0 » correspond à « <LQ » (Limite de Quantification, également fournie par le laboratoire).

Le premier résultat en Figure 38 illustre pour deux campagnes et trois ouvrages la variabilité des résultats obtenus. L'ouvrage Pz6 n'était pas accessible au cours de la seconde campagne.

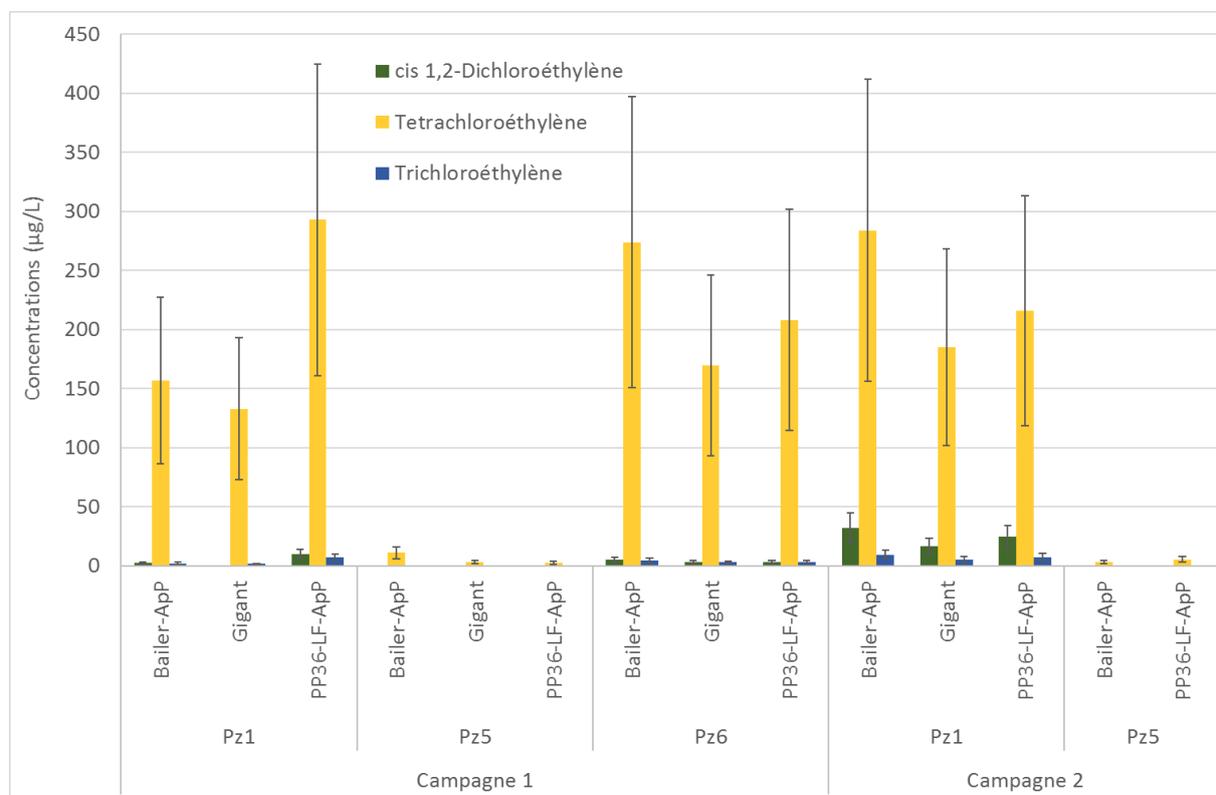


Figure 38 : Site 1 Influence de la volatilisation – Concentrations en COHV sur 2 piézomètres pour 2 campagnes (Bailer, Gigant, PP36-LF)

Les données acquises après purge portent sur une nappe impactée par trois substances de la famille des COHV. Sur le site, Pz1 est un ouvrage à proximité de la source, Pz6 est en aval, dans le panache de pollution, et Pz5 est en bordure latérale de ce panache.

Des variations sont constatées, quelle que soit la campagne et le piézomètre concernés, mais elles restent dans l'ensemble dans la gamme d'incertitudes fournie par le laboratoire. Il apparaît que le système à faible débit (<1L/mn) ne conduit pas toujours à obtenir les valeurs les plus élevées bien qu'il soit censé limiter la volatilisation. Parfois, comme en Pz1 au cours de la seconde campagne, c'est le bailer qui donne les concentrations les plus élevées. Sur Pz1, où les trois dispositifs étaient utilisés, l'ordre de prélèvement était le suivant : bailer, Gigant puis PP36-LF.

Les résultats de ces campagnes portant sur des substances volatiles (COHV) présentes au sein d'une nappe alluviale donnent des concentrations comparables pour les trois outils et protocoles de prélèvement testés sur ce site (considérant l'incertitude analytique). Toutefois, aucun dispositif ne conduit à la concentration la plus élevée dans tous les cas, ce qui pourrait traduire l'absence de volatilisation ou une perte limitée.

Site 2 - ICPE en activité

Protocole de prélèvement : utilisation d'une pompe immergée pour échantillonnage après une purge. La purge a été réalisée à l'aide de la pompe MP1, à la même profondeur que l'échantillonnage et pour un débit de l'ordre de 8 L/mn (critères d'arrêt : stabilisation des paramètres physico-chimiques et *a minima* 3 volume de puits).

Selon les ouvrages, jusqu'à 3 pompes immergées ont été employées suite à la réalisation d'une purge à l'aide de la pompe MP1. Outre le diamètre et la longueur de l'outil, le paramètre qui varie selon le dispositif employé est ici le débit de prélèvement :

- pompe MP1, débit de prélèvement modulable (de l'ordre de 2 L/mn) ;
- pompe PP36-LF, débit de prélèvement modulable (<1 L/mn) ;
- pompe Gigant, débit non modulable (de l'ordre de 4,5 L/mn).

	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Campagne 1 (avril 16)</th> <th>Pz2</th> <th>Pz3</th> <th>Pz8</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)</td> <td>9</td> <td>9</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)</td> <td>7</td> <td>7</td> <td>7</td> </tr> </tbody> </table>	Campagne 1 (avril 16)	Pz2	Pz3	Pz8	(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)	9	9	9	(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)	7	7	7
	Campagne 1 (avril 16)	Pz2	Pz3	Pz8									
	(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)	9	9	9									
	(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)	7	7	7									
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Campagne 2 (oct. 16)</th> <th>Pz2</th> <th>Pz3</th> <th>Pz8</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)</td> <td>8</td> <td>8</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)</td> <td>6</td> <td>6</td> <td>6</td> </tr> </tbody> </table>	Campagne 2 (oct. 16)	Pz2	Pz3	Pz8	(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)	8	8	8	(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)	6	6	6
	Campagne 2 (oct. 16)	Pz2	Pz3	Pz8									
	(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)	8	8	8									
	(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)	6	6	6									
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Campagne 3 (avril 17)</th> <th>Pz2</th> <th>Pz3</th> <th>Pz8</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)</td> <td>8,5</td> <td>8,5</td> <td>8,5</td> </tr> <tr> <td>(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)</td> <td>6,5</td> <td>6,5</td> <td>6,5</td> </tr> </tbody> </table>	Campagne 3 (avril 17)	Pz2	Pz3	Pz8	(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)	8,5	8,5	8,5	(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)	6,5	6,5	6,5
	Campagne 3 (avril 17)	Pz2	Pz3	Pz8									
	(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)	8,5	8,5	8,5									
	(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)	6,5	6,5	6,5									
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Campagne 4 (oct. 17)</th> <th>Pz2</th> <th>Pz3</th> <th>Pz8</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)</td> <td>6,5</td> <td>6,5</td> <td>6,5</td> </tr> <tr> <td>(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)</td> <td>4,5</td> <td>4,5</td> <td>4,5</td> </tr> </tbody> </table>	Campagne 4 (oct. 17)	Pz2	Pz3	Pz8	(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)	6,5	6,5	6,5	(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)	4,5	4,5	4,5
	Campagne 4 (oct. 17)	Pz2	Pz3	Pz8									
	(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)	6,5	6,5	6,5									
	(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)	4,5	4,5	4,5									

Résultats d'analyses : les concentrations présentées par la suite ont été déterminées avec une incertitude fournie par le laboratoire (EUROFINS) : Benzène 0,5 ; Toluène 0,3. Cette information est reportée sur les graphiques.

Deux substances volatiles, le benzène et le toluène (famille des BTEX), ont en particulier été retenues pour comparer les résultats et faciliter la lecture des illustrations.

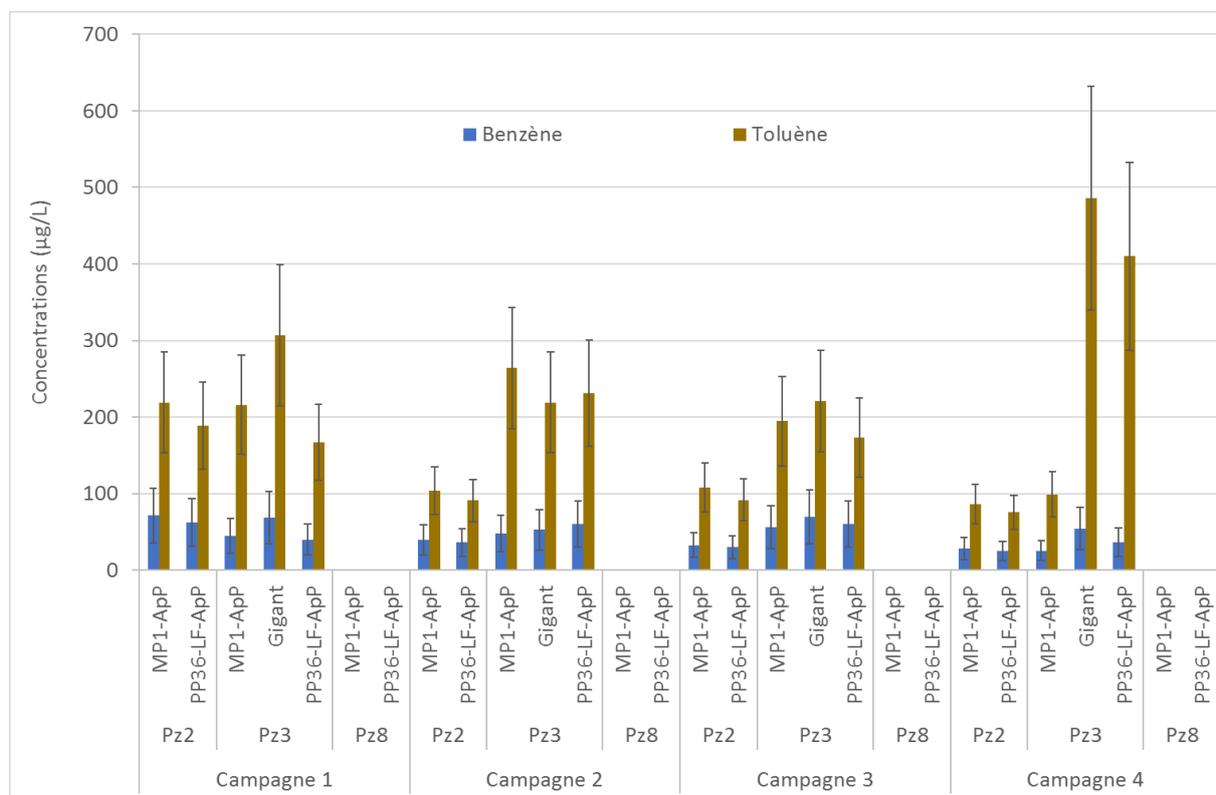


Figure 39 : Site 2 Influence de la volatilisation – Concentrations en Benzène et Toluène sur 3 piézomètres pour 4 campagnes (MP1, Gigant, PP36-LF)

En Figure 39, les données acquises après purge portent sur la qualité des eaux dans la partie superficielle de la nappe de la craie (sous 4,5 à 7 m d'eau, à partir de piézomètres de l'ordre de 10 m de profondeur). Les ouvrages existants ne recourent pas l'ensemble de la colonne d'eau dont l'épaisseur est de l'ordre de 35 m.

Les trois ouvrages, Pz2, Pz3 et Pz8, permettent de considérer des gammes de concentrations différentes (Pz2 et Pz3 sont dans le panache de pollution, Pz8 est en aval). Sur Pz3, où les 3 pompes étaient utilisées, l'ordre de prélèvement était le suivant : MP1 (en place suite à la purge), Gigant puis PP36-LF.

Des variations sont constatées, quels que soient la campagne et le piézomètre.

Dans le détail, il apparaît que les 2 pompes testées conduisent à chaque fois à ne pas observer de pollution en Pz8. En Pz2 et Pz3, la pompe Gigant, dont le débit est le plus élevé, conduit souvent aux concentrations les plus fortes. Sur ces deux ouvrages, les résultats sont dans l'ensemble similaires à l'exception de certains impliquant le Pz3, la pompe Gigant et ponctuellement la pompe PP36-LF (cf. Gigant campagne 1, PP36-LF et Gigant campagne 4).

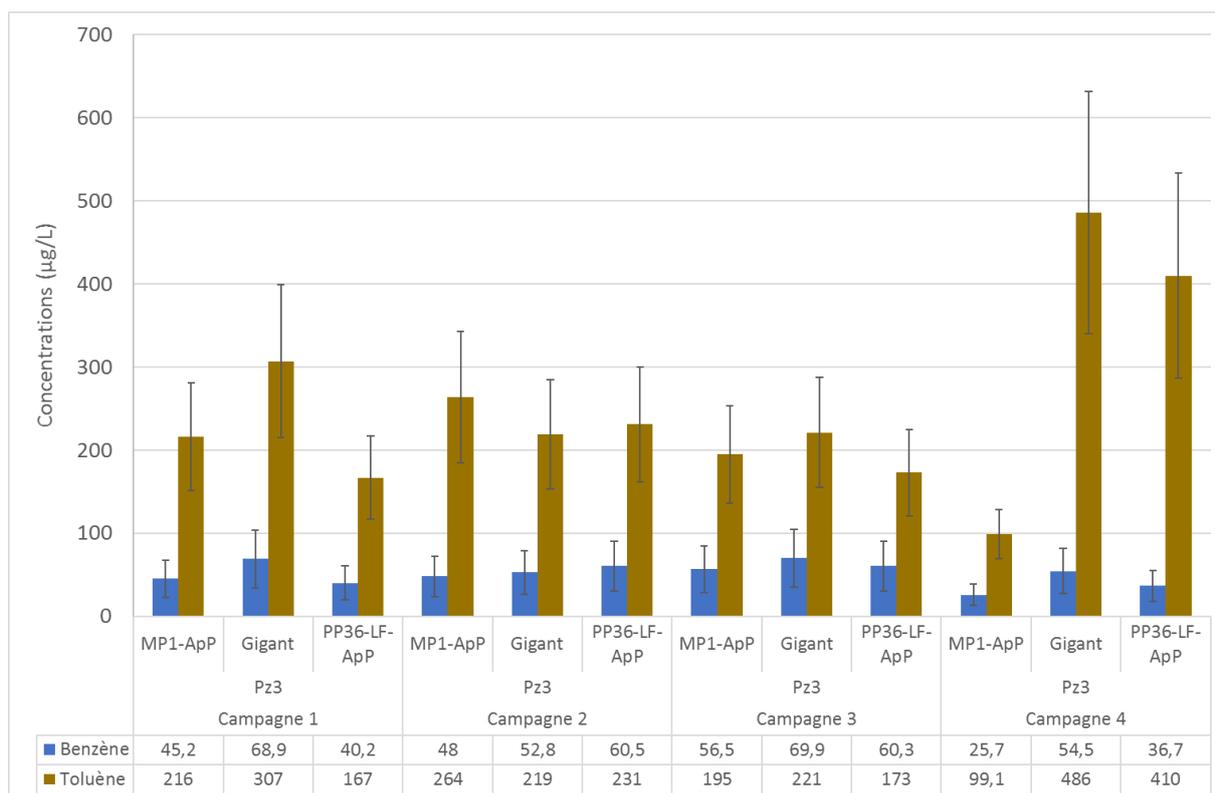


Figure 40 : Site 2 Influence de la volatilisation – Concentrations en Benzène et Toluène sur 1 piézomètre (Pz3) pour 4 campagnes (MP1, Gigant, PP36-LF)

Sur Pz3, dont les résultats sont reportés en Figure 40, le toluène semble être la substance pour laquelle les variations sont les plus importantes (rappel : l'incertitude du laboratoire est de 50% pour le benzène et de 30% pour le toluène).

Au cours de la campagne 4 en particulier, les prélèvements associés aux pompes PP36-LF puis Gigant conduisent aux valeurs les plus élevées, nettement supérieures à celles liées à un prélèvement à la pompe MP1 (le premier effectué à la suite de la purge). Il s'agit des résultats les plus contrastés, le seul événement particulier survenu lors de cette campagne était la présence d'une faible épaisseur de phase surnageante observée ponctuellement, mais seulement avant la purge en Pz3.

Les résultats de quatre campagnes effectuées sur un site implanté au droit de la nappe de la craie et pollué par des hydrocarbures volatils, dont le benzène et le toluène, sont dans l'ensemble similaires (considérant l'incertitude analytique), en particulier pour les trois premières campagnes. Les concentrations sont en effet comparables pour les trois outils et protocoles de prélèvement testés. In fine, aucun dispositif ne conduit à la concentration la plus élevée dans tous les cas, ce qui pourrait traduire l'absence de volatilisation ou une perte limitée.

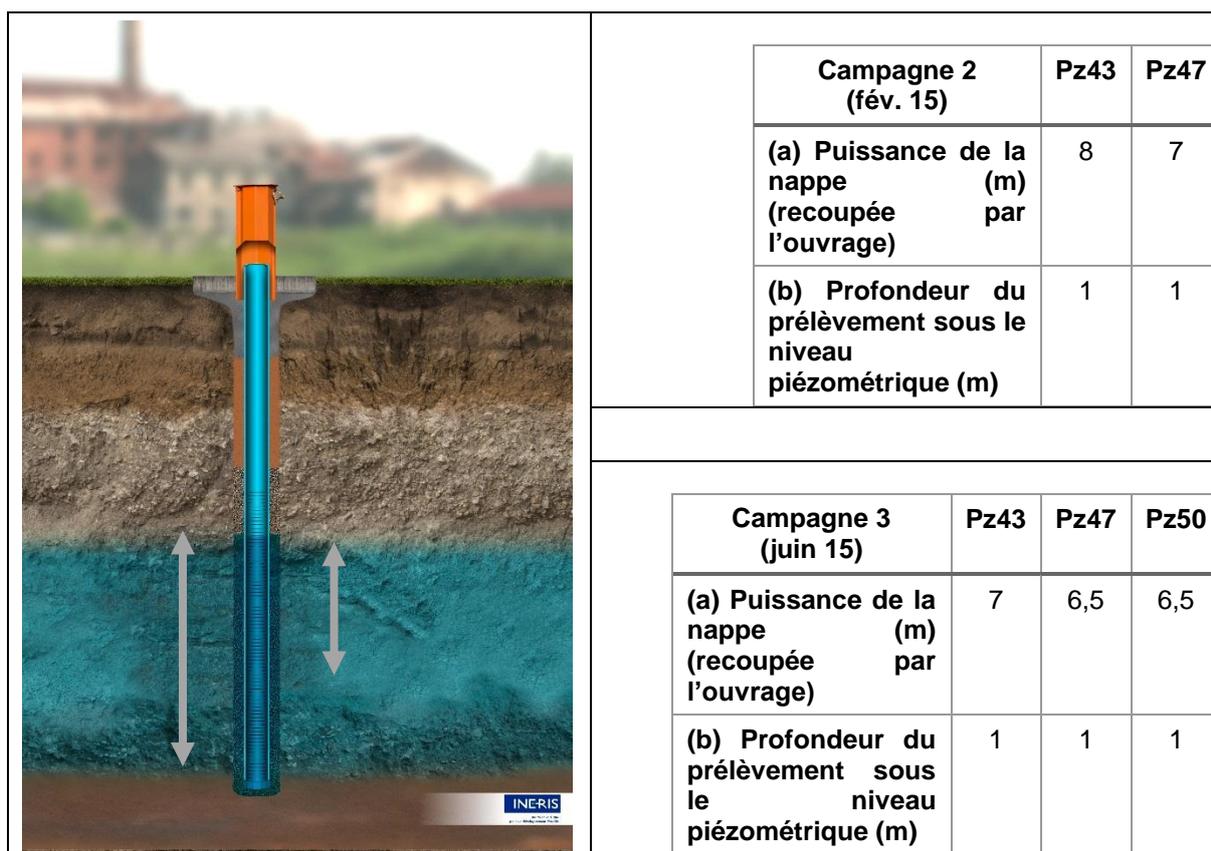
Site 3 - ICPE en activité (BIOdéPOL)

Protocole de prélèvement : utilisation d'une pompe pour échantillonnage après une purge. La purge a été réalisée à l'aide de la pompe PP36-LF, à la même profondeur que l'échantillonnage et pour un débit de l'ordre de 8 L/mn (critères d'arrêt : stabilisation des paramètres physico-chimiques et *a minima* 3 volume de puits).

Selon les ouvrages, jusqu'à 3 pompes ont été employées suite à la réalisation d'une purge à l'aide de la pompe PP36-LF. Outre le diamètre et la longueur de l'outil, le paramètre qui varie selon le dispositif employé est ici le débit de prélèvement :

- pompe Péristaltique (en surface), débit de prélèvement non modulable (de l'ordre de 0,2 L/mn) ;
- pompe PP36-LF, débit de prélèvement modulable (de l'ordre de 0,5 L/mn) ;
- pompe Gigant, débit non modulable (de l'ordre de 3 L/mn).

Ci-dessous sont reportées sur l'illustration d'un piézomètre la puissance de la nappe (recoupée par l'ouvrage) et la profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique.



Résultats d'analyses : les concentrations présentées par la suite ont été déterminées avec une incertitude fournie par le laboratoire (laboratoire AGROLAB retenu par les partenaires de BIODéPOL). Les incertitudes concernant les principales substances (respectivement volatile et semi-volatile) sont : Benzène 0,14 ; Naphtalène 0,13. Cette information est reportée sur les graphiques.

A noter que l'estimation par le calcul des incertitudes liées à l'analyse repose sur des méthodes différentes selon les laboratoires (AGROLAB et EUROFINS). Dans le cadre de cette comparaison ce changement n'a pas d'influence - les résultats fournis par AGROLAB ont été utilisés ici – toutefois, le lecteur observera pour une même substance (ex. benzène) des gammes d'incertitudes différentes selon le site.

Dans le cas du projet BIODÉPOL, de nombreux ouvrages ont été considérés au cours de 4 principales campagnes. Néanmoins, au regard des concentrations obtenues, le choix des ouvrages étudiés a évolué au cours du projet. Ainsi, les graphiques qui suivent illustrent les résultats montrant le plus de valeurs supérieures à la LQ du laboratoire.

La Figure 41 illustre les résultats obtenus au niveau des piézomètres Pz43, Pz47 et Pz50 pour deux campagnes. Dans l'ordre, les prélèvements ont été effectués via : le Bailer, la pompe PP36, la pompe Péristaltique et la pompe Gigant.

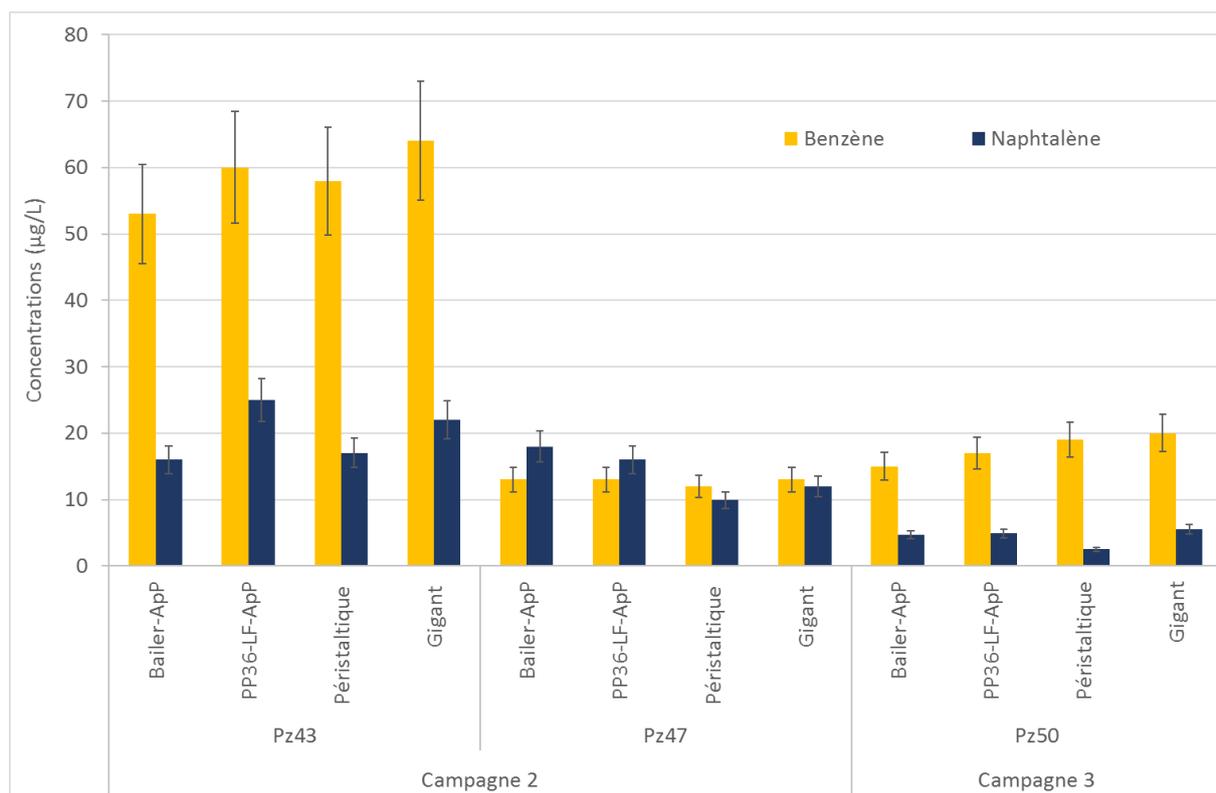


Figure 41 : Site 3 Influence de la volatilisation – Concentrations en Benzène et Naphtalène sur 3 piézomètres pour 2 campagnes (Bailer, PP36-LF, Péristaltique, Gigant)

Au regard de l'incertitude fournie par le laboratoire, les concentrations reportées varient selon le dispositif employé. Les variations sont plus importantes pour la substance semi-volatile, le naphtalène.

Le site est implanté sur une nappe alluviale (nappe de la Crau), la rupture d'un pipeline en 2009 a conduit à une pollution aux hydrocarbures. Les campagnes menées conduisent à observer des variations, en particulier pour le naphtalène, mais ces résultats ne permettent pas d'identifier un dispositif conduisant à la concentration la plus élevée dans tous les cas, ce qui pourrait traduire l'absence de volatilisation ou une perte limitée.

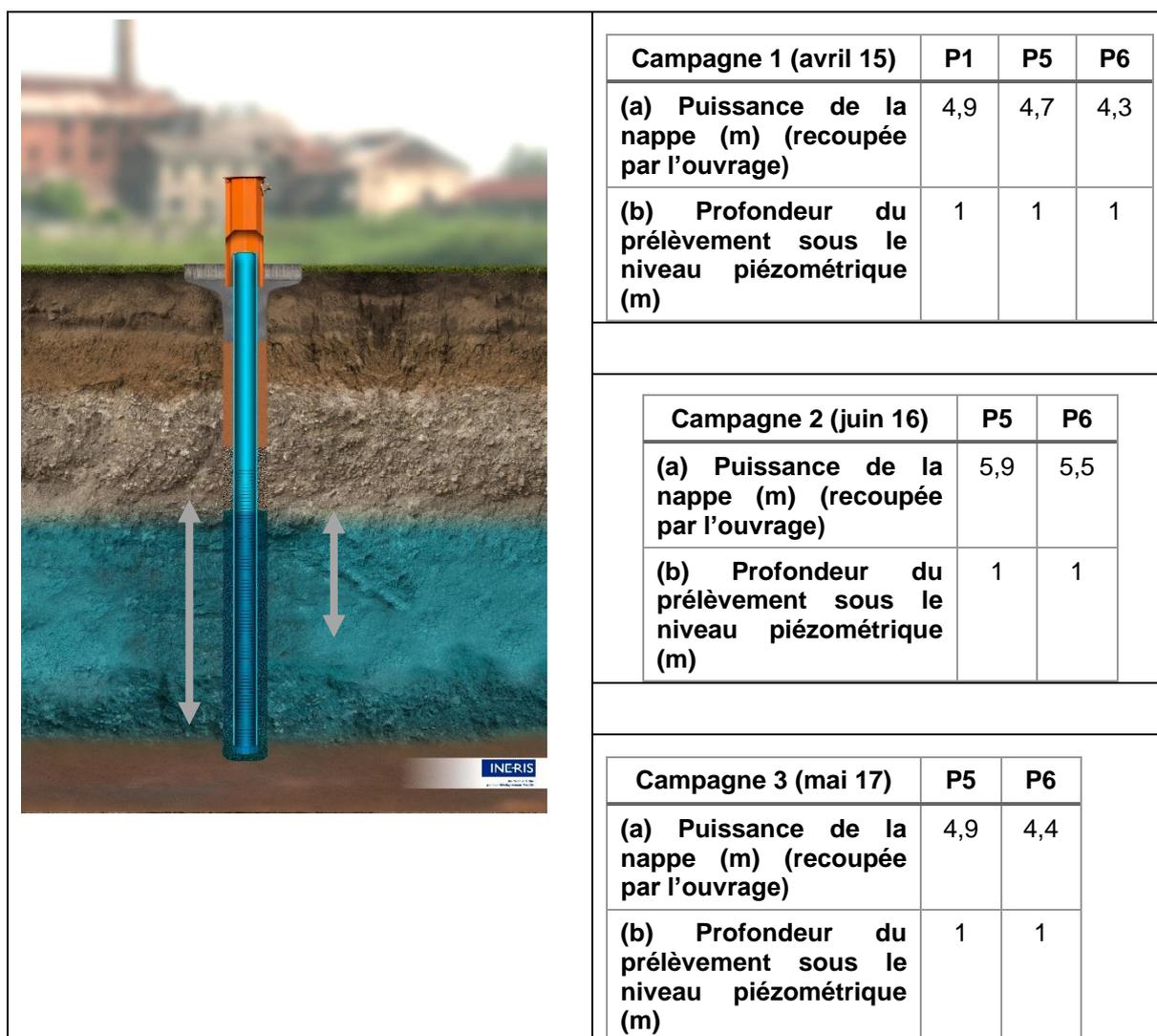
Site 4 - ICPE en cessation d'activité

Protocole de prélèvement : utilisation d'une pompe pour échantillonnage après une purge. La purge a été réalisée à l'aide de la pompe PP36-LF, à la même profondeur que l'échantillonnage et pour un débit de l'ordre de 8 L/mn (critères d'arrêt : stabilisation des paramètres physico-chimiques et *a minima* 3 volume de puits).

Selon les ouvrages, jusqu'à 3 pompes ont été employées suite à la réalisation d'une purge à l'aide de la pompe PP36-LF. Outre le diamètre et la longueur de l'outil, le paramètre qui varie selon le dispositif employé est ici le débit de prélèvement :

- pompe Péristaltique (en surface), débit de prélèvement non modulable (de l'ordre de 0,2 L/mn) ;
- pompe PP36-LF, débit de prélèvement modulable (<1 L/mn) ;
- pompe Gigant, débit non modulable (de l'ordre de 3 L/mn).

Ci-dessous sont reportées sur l'illustration d'un piézomètre la puissance de la nappe (recoupée par l'ouvrage) et la profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique.



Résultats d'analyses : les concentrations présentées par la suite ont été déterminées avec une incertitude fournie par le laboratoire (EUROFINS), avec pour les substances les plus citées dans le texte : Benzène 0,5 ; Toluène 0,3 ; Ethylbenzène 0,55 ; Xylène (méta-, para-) 0,5 ; o-Xylène 0,5. Cette information est reportée sur les graphiques.

De manière générale, la plupart des HAP sont peu volatils (le naphthalène est semi-volatil), c'est pourquoi les substances de la famille des BTEX sont présentées ici pour traiter de la question de la volatilisation (sur ce site, les concentrations sont supérieures à la LQ pour l'ensemble des BTEX).

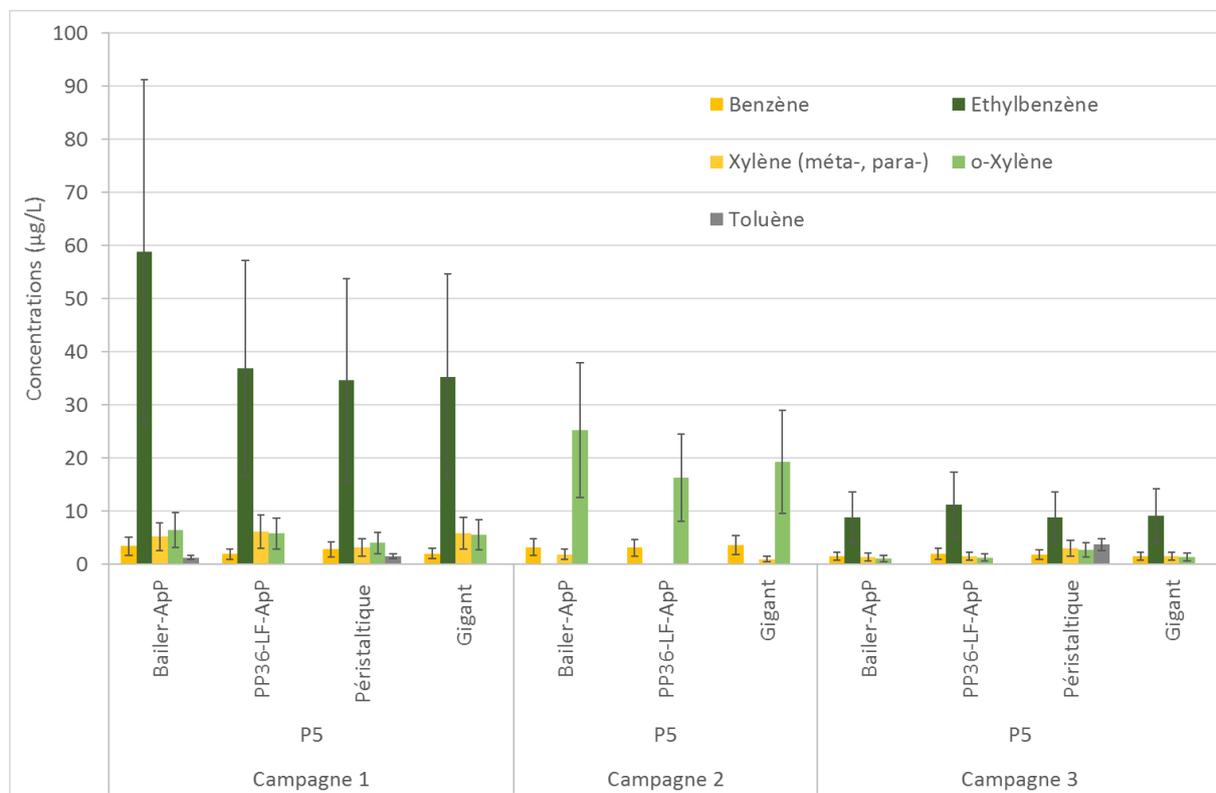


Figure 42 : Site 4 Influence de la volatilisation – Concentrations en BTEX sur 1 piézomètre (P5) pour 3 campagnes (Bailer, PP36-LF, Péristaltique, Gigant)

Au cours de trois campagnes menées sur un ouvrage P5, quatre dispositifs ont été testés. L'ordre de prélèvement était le suivant : Bailer, pompe PP36-LF, pompe Péristaltique et pompe Gigant.

En Figure 42, concernant les substances pour lesquelles les concentrations sont les plus élevées, éthylbenzène et o-xylène, ces concentrations apparaissent similaires en considérant l'incertitude analytique. A noter cependant une valeur d'éthylbenzène un peu plus élevée pour le prélèvement au bailer lors de la première campagne. Ce constat ne vaut pas pour les autres substances identifiées (o-xylène notamment).

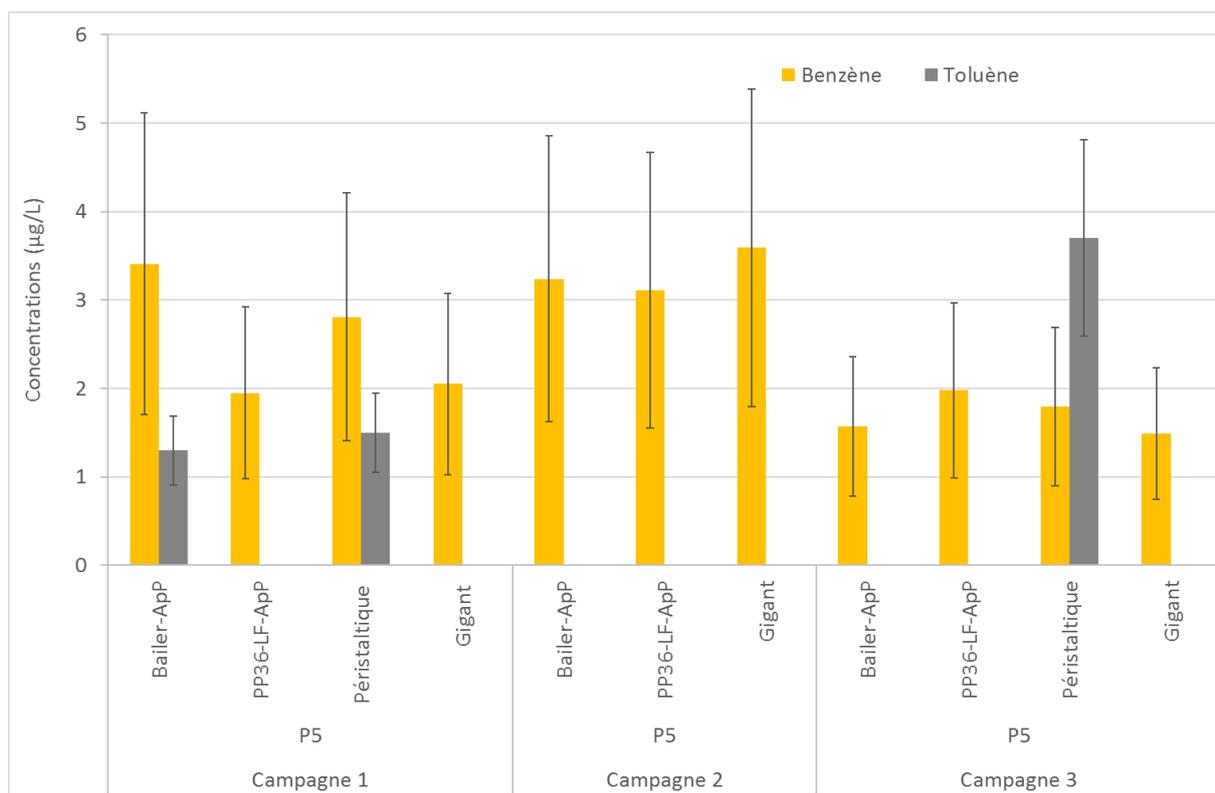


Figure 43 : Site 4 Influence de la volatilisation – Concentrations en Benzène et Toluène sur 1 piézomètre (P5) pour 3 campagnes (Bailer, PP36-LF, Péristaltique, Gigant)

Un focus sur benzène et toluène en Figure 43 (comme dans le cas du site 2) montre des concentrations plus faibles que pour les substances évoquées précédemment. Pour le benzène, les concentrations sont comparables au regard de la gamme d'incertitudes. Pour le toluène, ce n'est pas le cas. En effet, au cours de la première et de la troisième campagne, le toluène a été identifié seulement par certains outils (rappel : la LQ est de 0,5 µg/L pour le benzène et de 1 µg/L pour le toluène).

Le site est implanté sur une nappe alluviale, une pollution avérée (historique) concerne notamment des substances volatiles (famille des BTEX). Considérant l'incertitude analytique, les données acquises sur ce site ne permettent pas d'identifier un dispositif conduisant à des concentrations plus élevées dans tous les cas, ce qui pourrait traduire l'absence de volatilisation ou une perte limitée.

Cuve expérimentale

Protocole de prélèvement : pas de purge compte-tenu du matériau homogène et calibré constituant l'aquifère simulé (sable de Mios, Gironde) et des caractéristiques des piézomètres installés (en particulier le slot de la crépine).

Plusieurs pompes ont été employées. Outre le diamètre et la longueur de l'outil, le paramètre qui varie selon le dispositif employé est ici le débit de prélèvement :

- pompe Péristaltique (en surface), débit de prélèvement non modulable (de l'ordre de 0,4 L/mn) ;
- pompe pneumatique à Vessie, débit de prélèvement modulable (<1 L/mn) ;
- pompe PP36-LF, débit de prélèvement modulable (<1 L/mn) ;
- pompe Gigant, débit non modulable (de l'ordre de 8 L/mn).

Résultats d'analyses : les concentrations présentées par la suite ont été déterminées avec une incertitude fournie par le laboratoire (EUROFINS) : Benzène 0,5. Cette information est reportée sur les graphiques.

Quatre campagnes identiques ont été menées sur cette cuve dans le cadre de l'exercice de comparaison, la seule différence étant la concentration en benzène dans la source injectée. La première campagne a contribué à tester le dispositif et notamment le système d'injection de benzène, la fréquence de prélèvement à considérer, etc.

Tous les prélèvements ont été réalisés à 15 cm sous le niveau piézométrique. La nappe a une puissance de l'ordre de 70 cm.

Les résultats présentés portent sur les campagnes et les ouvrages pour lesquelles des concentrations supérieures à la LQ ont été observées.

Les ouvrages Pz3, Pz5 et Pz8 sont situés dans la ligne de courant principale, au centre de la cuve, et répartis de l'amont vers l'aval hydraulique. Pz3 est implanté en aval immédiat de la zone source simulée (PzS). Un modèle hydrodynamique a permis de préciser le gradient hydraulique à maintenir et les périodes de prélèvements (aux piézomètres retenus en aval de l'injection : Pz3, Pz5 et Pz8).

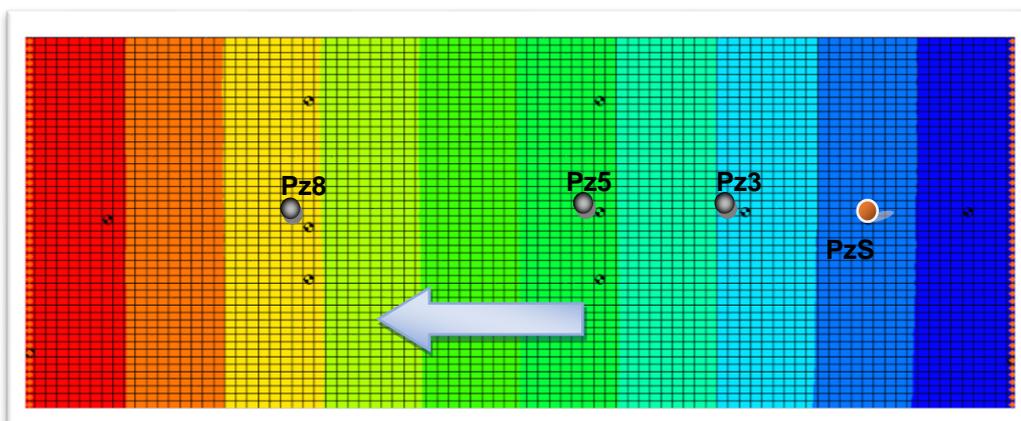


Figure 44 : Illustration d'une simulation d'écoulement réalisée à partir d'un modèle numérique de la cuve expérimentale MAPI (sous GMS - MODFLOW)

La Figure 45 montre les résultats obtenus pour ces ouvrages au cours de 2 campagnes.

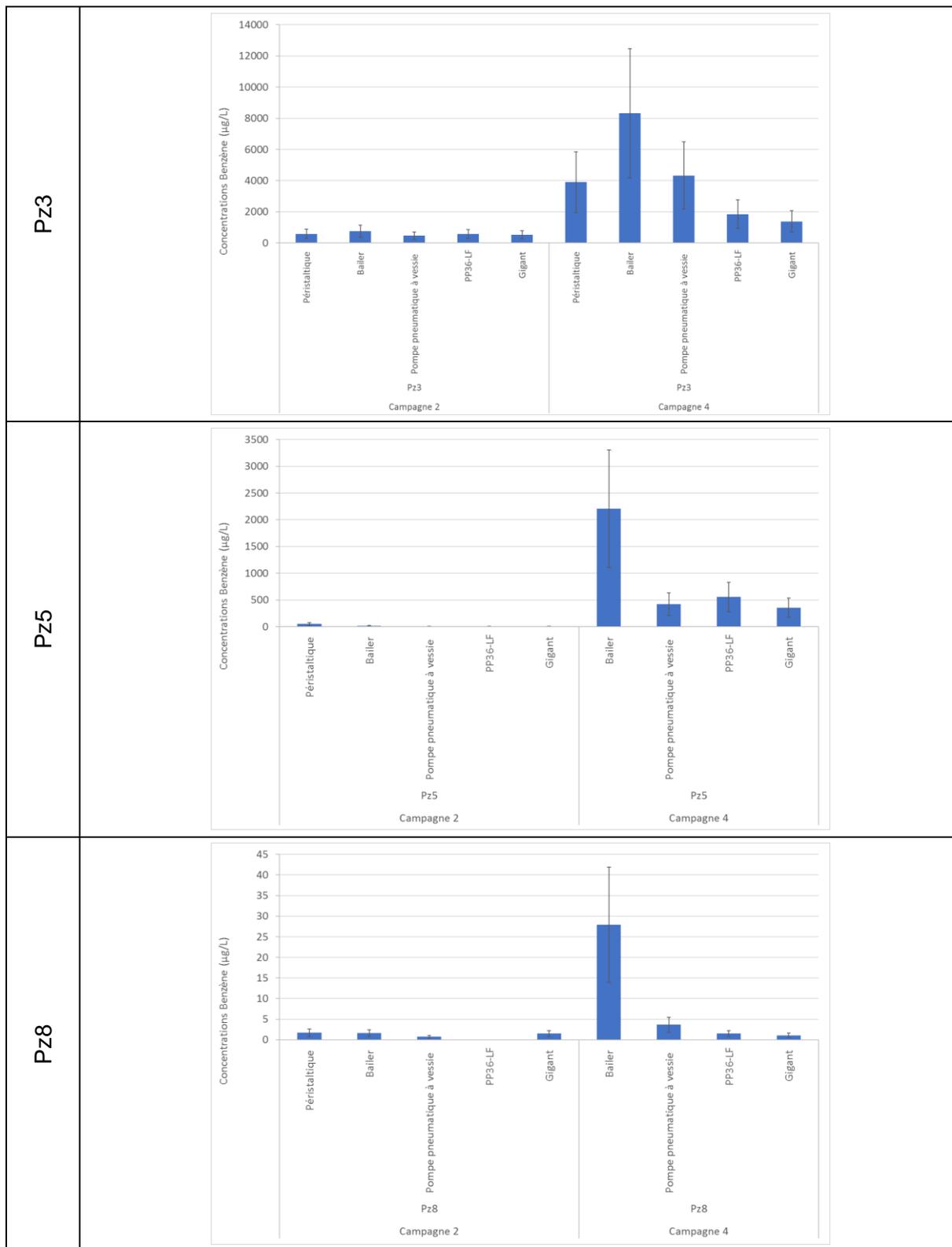


Figure 45 : Cuve expérimentale Influence de la volatilisation – Concentrations en Benzène sur 3 piézomètres pour 2 campagnes (5 dispositifs)

Tenant compte de l'incertitude analytique, la campagne 2 montre des résultats assez similaires. Pour une concentration plus élevée à la source au cours de la campagne 4,

des différences apparaissent, et en particulier pour le bailer, avec lequel les concentrations les plus importantes sont observées sur les trois piézomètres. *A contrario*, la pompe Gigant conduit toujours à obtenir les valeurs les plus faibles.

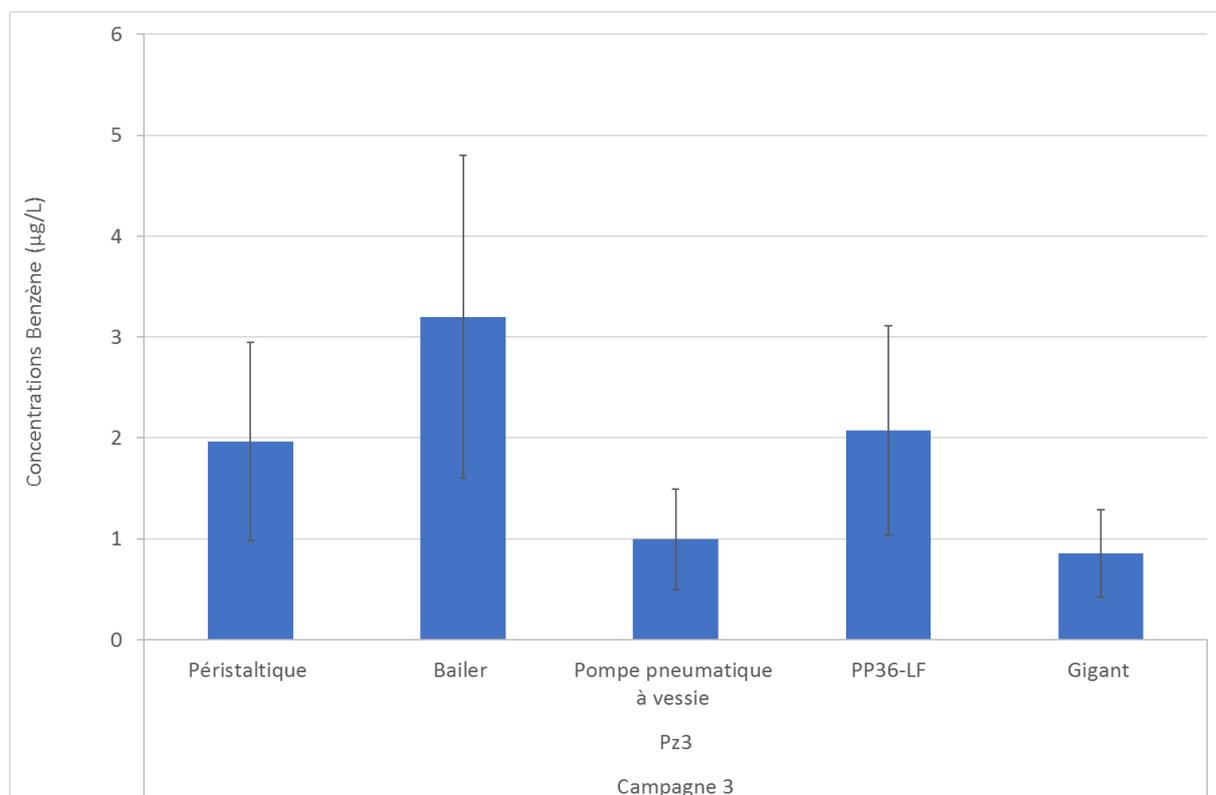


Figure 46 : Cuve exp. Influence de la volatilisation – Concentrations en Benzène sur 1 piézomètre (Pz3) pour une campagne (5 dispositifs)

Au regard de la Figure 46, la même observation peut être faite pour la campagne 3 où la concentration de benzène injectée était faible (ci-dessus résultats en aval immédiat de la source, en Pz3) : la concentration avec le Bailer est de 3,2 µg/L alors qu'elle est de l'ordre de 2 µg/L pour la pompe PP36-LF et la pompe Péristaltique.

Concernant la pompe Gigant, les faibles concentrations observées peuvent être associées aux difficultés rencontrées pour échantillonner la cuve depuis la surface. En effet, la pompe Gigant a un débit élevé lorsqu'elle est utilisée dans ces conditions.

Concernant le bailer, il convient de noter que dans le cas de la cuve, l'outil n'est pas descendu puis remonté (plein) sur plusieurs mètres comme sur un site réel.

La cuve expérimentale permet de simuler l'évolution d'un panache de benzène au sein d'un milieu plus homogène, mieux connu et contrôlé que le milieu naturel. Les résultats obtenus pour trois campagnes indiquent clairement que le bailer conduit à des concentrations plus élevées (dans tous les cas), ce qui pourrait traduire l'absence de volatilisation voire une perte limitée lorsque ce dispositif est employé (pour une nappe à proximité de la surface).

Conclusion, points à faire ressortir :

A l'échelle de 4 sites et d'une cuve expérimentale, pour plusieurs campagnes, l'INERIS a réalisé une comparaison entre les concentrations obtenues selon le recours à différents outils ou protocoles afin d'illustrer la variabilité des résultats portant sur des substances volatiles classiquement recherchées dans le domaine des ICPE et des sites pollués : les BTEX, COHV et le naphthalène (semi-volatile, HAP).

Aux deux échelles, des variations sont constatées quels que soient la campagne et le piézomètre, mais elles restent dans l'ensemble dans la gamme d'incertitudes fournie par le laboratoire.

A l'échelle de la cuve, le bailer conduit à obtenir régulièrement la concentration la plus élevée ce qui pourrait traduire une faible perte par volatilisation voire l'absence de volatilisation. Toutefois, ce n'est pas le cas pour les sites réels. En rappel, le bailer n'est pas le premier outil recommandé par les documents normatifs et les guides techniques cités en introduction de cette partie afin de limiter la volatilisation (il s'agirait plutôt de privilégier une pompe immergée avec faible débit, <1 L/mn).

Cet effet d'échelle pourrait être lié à la mise en œuvre du bailer au sein de la cuve : le bailer est descendu à 35 - 40 cm de profondeur à partir du haut du tube, soit à 15 cm sous le niveau piézométrique, or sur site, il s'agit plus généralement de descendre le bailer à plusieurs mètres et d'obtenir un volume d'eau de 1 L dans le premier mètre de la nappe.

Quoi qu'il en soit, les graphiques présentés dans ce document permettent d'illustrer la variabilité des concentrations en polluants volatils selon différents outils et protocoles mis en œuvre en conditions réelles, sur des sites pollués. D'un point de vue opérationnel, **les données acquises ne permettent pas de recommander l'acquisition et l'utilisation d'un matériel particulier parmi ceux testés ici. Seules les règles de bons sens conduisant « en théorie » à limiter la volatilisation** et citées dans la norme AFNOR NF X 31-615 peuvent être rappelées :

- pour des pompes, les débits doivent être limités pour la purge et le prélèvement (utiliser le même dispositif) ;
- pour un outil immergé, la descente d'une pompe immergée, d'un bailer, etc. doit s'effectuer le plus lentement possible. La remontée d'un outil comme le bailer doit également s'effectuer le plus lentement possible ;
- remplir le flacon fourni par le laboratoire lentement et à ras bord ;
- ne pas filtrer l'échantillon.

Références liées à cette partie :

ADEME (2005). « Représentativité des échantillons d'eau prélevés en forages de contrôle ».

AFNOR (2017). NF X 31-615 « Qualité des sols - Méthodes de détection, de caractérisation et de surveillance des pollutions en nappe - Echantillonnage des eaux souterraines dans des forages de surveillance ».

Arrêté du 2 février 1998 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation.

BRGM et INERIS (2016) « Guide pratique pour la caractérisation des gaz du sol et de l'air intérieur en lien avec une pollution des sols et/ou des eaux souterraines ».

BRGM (2009). « Maîtrise et Gestion des Impacts des polluants sur la qualité des Eaux Souterraines (ESO) ».

Environmental Protection Agency U.S. (2002) « Ground-Water Sampling Guidelines for Superfund and RCRA Project Managers ».

Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs du Québec - Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (2011). « Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales : cahier 3 – Échantillonnage des eaux souterraines ».

Traverse S., Schäfer G., Chastanet J., Hulot C., Perronnet K., Collignan B., Cotel S., Marcoux M., Côme J.M., Correa J., Gay G., Quintard M., Pepin L. (2013). Projet FLUXOBAT, « Evaluation des transferts de COV du sol vers l'air intérieur et extérieur ». Guide méthodologique.

Partie 4

INFLUENCE DE LA PROFONDEUR ET DU DISPOSITIF

Dans le cadre d'un prélèvement d'eau souterraine à partir d'un piézomètre, à quelle profondeur prélever et quel outil et protocole utiliser ?



Principales recommandations actuelles :

- la Norme AFNOR NF X 31-615 recommande de considérer plusieurs critères pour choisir la profondeur de prélèvement (le niveau piézométrique, la position des crépines, la densité des produits recherchés, etc.). Plus spécifiquement, elle recommande dans le cas d'une recherche de "composés dissous de type LNAPL" de privilégier la partie superficielle de l'aquifère. Dans le cas d'une recherche de "composés dissous de type DNAPL" c'est la totalité de la colonne d'eau qui est à considérer. Différents outils et protocoles sont décrits, à noter que pour un prélèvement à plusieurs niveaux de la nappe - "pour les forages avec une colonne d'eau importante (> 10-15 m), et selon le type de polluant recherché et la géologie" - les systèmes d'étanchéité (packers ou obturateurs) permettent d'isoler une portion de l'aquifère. La Norme ISO 5667-11 précise que la technique de prélèvement doit permettre de détecter des variations de qualité aussi bien en latéral qu'en vertical.
- de nombreux dispositifs de prélèvement sont cités dans des documents techniques afin d'obtenir un échantillon représentatif à un niveau ou à plusieurs niveaux d'une nappe (BRGM, 2009 ; Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 2011 ; EPA 2013).



Un guide du Ministère en charge de l'Environnement rédigé avec l'appui du BRGM et de l'INERIS (MTES, 2018) et portant sur la surveillance du milieu eau souterraine dans le cadre des ICPE et des sites pollués, précise au sujet de la profondeur du prélèvement :

- pour les substances solubles (alcools, sels, etc.), la profondeur à laquelle le prélèvement doit être réalisé, et donc la profondeur minimale du forage, est fonction de l'éloignement à la source (du fait de la dispersion verticale) ;
- pour les substances solubles issues de phases organiques flottantes (LNAPL), des forages superficiels proches de la source peuvent suffire (leur profondeur sera à augmenter avec l'éloignement à la source de pollution). Toutefois, dans certains cas, des doublets d'ouvrages destinés à un échantillonnage multiniveau peuvent être nécessaires pour aider à appréhender l'extension de la fraction soluble ;
- pour les substances solubles issues de phases organiques plongeantes (DNAPL), les ouvrages doivent permettre d'investiguer la nappe sur tout ou partie de sa hauteur en fonction de l'ancienneté de la pollution, du volume perdu et de la capacité de rétention du milieu. Dans le cas des DNAPL, des ouvrages destinés à un échantillonnage multiniveau sont pertinents pour aider à appréhender l'extension verticale et l'hétérogénéité de la pollution (stratification du panache de pollution).

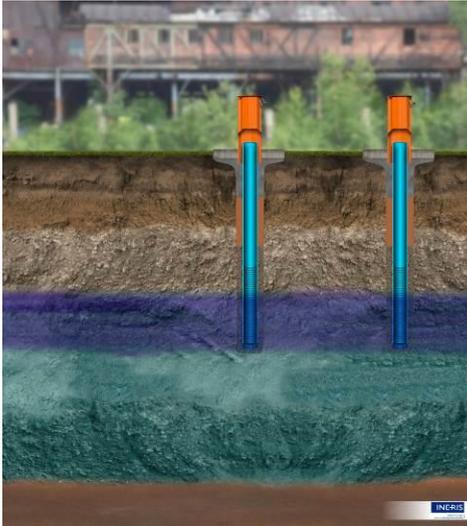
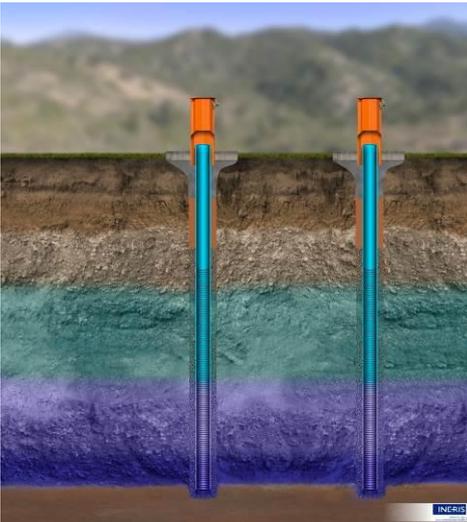
	<p>Situation avec pollution liée à la présence d'une phase organique flottante (LNAPL)</p>
	<p>Situation intermédiaire avec une pollution liée à une ou plusieurs substances solubles</p>
	<p>Situation avec pollution liée à la présence d'une phase organique plongeante (DNAPL)</p>

Figure 47 : Profondeurs de forage à envisager selon les polluants en présence (en violet) – cas d'un aquifère homogène (MTES, 2018)

Le prélèvement mononiveau reste pertinent dans de nombreux cas. Cependant, certains contextes peuvent induire une stratification du panache de pollution et nécessiter de recourir à un prélèvement multiniveau. Ces contextes sont généralement liés à :

- une nappe dont l'épaisseur est supérieure à plusieurs mètres ;
- la présence de niveaux plus ou moins perméables au sein de la nappe ;
- la présence de substances dont la densité en phase pure est supérieure à 1, ce qui conduit à une migration en profondeur de cette phase pure (cas du PCE ou du TCE) ;
- une pollution ancienne, ayant migrée en zone non saturée puis saturée (vers le mur de l'aquifère).

La norme française stipule en page 17 que « *Pour les forages avec une colonne d'eau importante (> 10-15 m), et selon le type de polluant recherché et la géologie, on pourra envisager des prélèvements à plusieurs niveaux.* » (AFNOR, 2017).

La décision de mettre en œuvre un prélèvement à telle ou telle profondeur ou à différents niveaux de la nappe et en particulier le choix entre les techniques adaptées est également fonction de différents facteurs qui peuvent faciliter l'homogénéisation des solutés dans le piézomètre. Ces facteurs incluent en particulier l'existence de flux verticaux naturels.

Selon Elci et al (2003), les flux verticaux sont présents dans la plupart des sites et avec des amplitudes qui dépassent souvent les flux horizontaux.

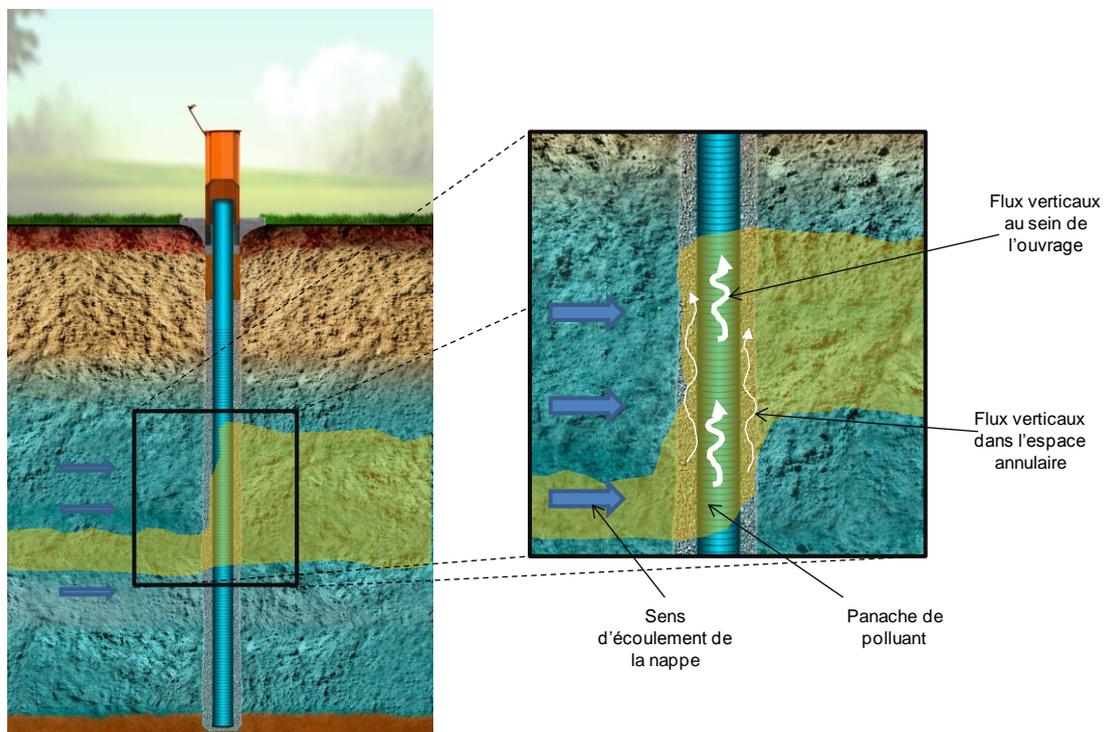


Figure 48 : Représentation schématique de l'influence des flux verticaux sur l'homogénéisation de la colonne d'eau (INERIS, 2016 - BIOdÉPOL)

Cette notion de flux verticaux est particulièrement importante dans le cadre d'un prélèvement basé sur des échantillonneurs passifs à plusieurs niveaux comme a pu le démontrer l'INERIS dans le cadre de travaux menés pour le compte de l'ADEME (ADEME, 2014).

La profondeur de prélèvement apparaît comme un élément fondamental de la surveillance de la qualité du milieu eau souterraine dans le cadre des ICPE et des sites pollués. En effet, elle conditionne deux aspects essentiels du plan d'échantillonnage, d'une part, les caractéristiques du piézomètre (cf. Figure 47), d'autre part, le dispositif de prélèvement retenu (échantillonnage par pompage, via un préleveur ou encore au moyen d'un échantillonneur passif, cf. page 22 AFNOR, 2017). L'INERIS a donc intégré cette question dans le cadre de l'exercice de comparaison débuté en 2014 afin de mettre en œuvre une comparaison et une démonstration « robuste », considérant plusieurs :

- sites pollués (6 dans le cadre de cette question) ;
- piézomètres (ouvrages dédiés à une surveillance en cours, plus ou moins proches d'une source de pollution, il s'agit de piézomètres « complets », crépinés sur toute la colonne d'eau recoupée par le piézomètre) ;
- campagnes (2 à 4 selon le site) ;
- substances (avec des comportements différents).

Tableau 8 : Données exploitées pour évaluer l'influence de la profondeur, du dispositif (cf. Exercice de comparaison, 2014-2017)

	ICPE en activité	ICPE en activité	ICPE en activité (BIODÉPOL)	ICPE en cessation d'activité	Site minier en cessation d'activité	ICPE (ISDnD) en activité
	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4	Site 5	Site 6
Typologie aquifère	Alluvial	Crayeux	Alluvial	Alluvial	Alluvial	Karstique
Principales substances recherchées (familles)	COHV	BTEX/HAP	BTEX/HAP	BTEX/HAP	ETM	CI-/ETM
Nombre de campagnes / question	2	4	3	3	3	3
Nombre d'ouvrages / question	9	3	7	3	2	2

La comparaison réalisée ci-après porte sur des résultats acquis après purge. A noter que sur l'ensemble des campagnes menées entre 2014 et 2017 le choix a été fait d'effectuer une purge statique, considérant qu'il s'agit actuellement du mode de purge le plus employé par les opérateurs de terrain.

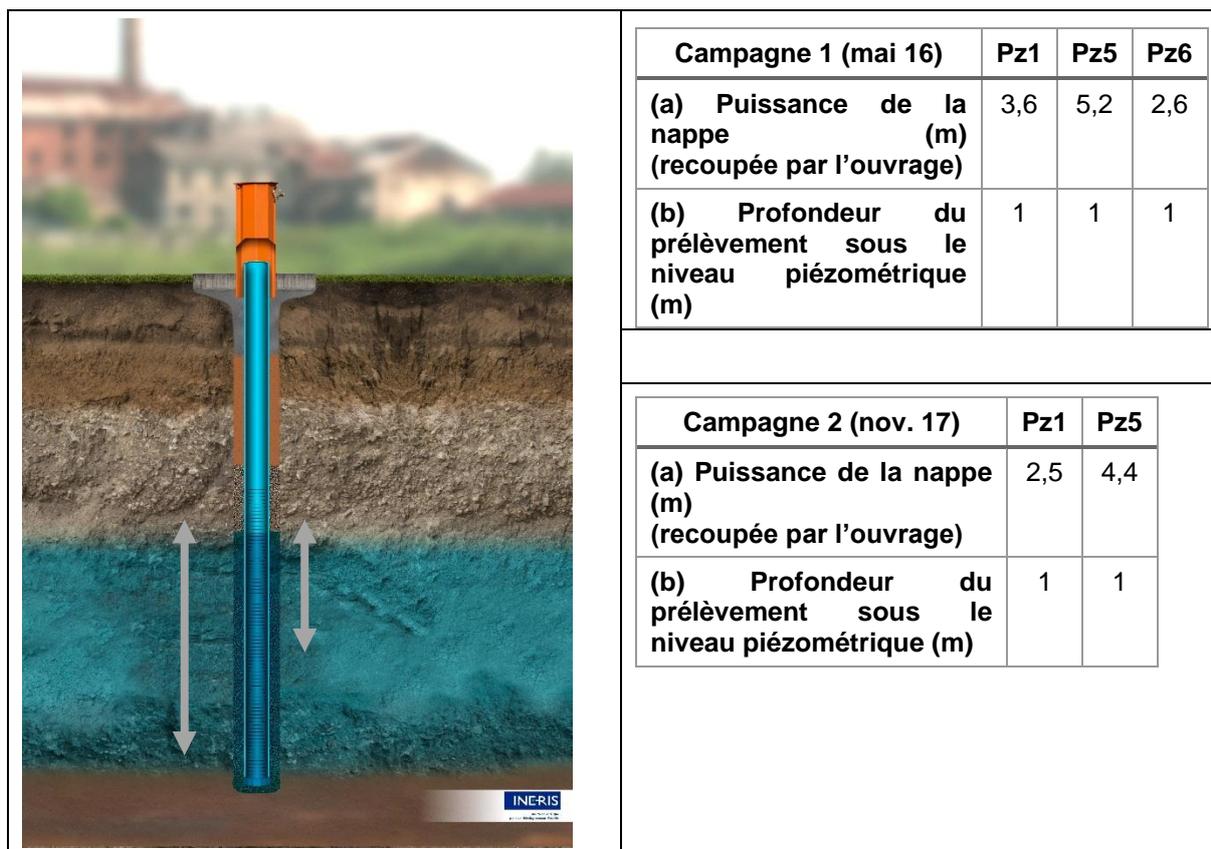
Site 1 - ICPE en activité

Protocole de prélèvement : utilisation d'un bailer et d'une pompe immergée pour échantillonnage après une purge. La purge a été réalisée à l'aide de la pompe PP36-LF, à la même profondeur que l'échantillonnage et pour un débit de l'ordre de 4 L/mn (critères d'arrêt : stabilisation des paramètres physico-chimiques et *a minima* 3 volume de puits).

Selon les ouvrages, jusqu'à 3 outils ont été employés (un préleveur à usage unique et deux pompes immergées). Le préleveur à usage unique ou bailer donne accès au premier mètre de la colonne d'eau (de la nappe). Les pompes immergées sont ici de deux types et outre le diamètre et la longueur de l'outil, le paramètre qui varie selon le dispositif employé est le débit de prélèvement :

- pompe PP36 avec système « Low Flow », débit de prélèvement modulable (<1 L/mn) ;
- pompe Gigant, débit non modulable (de l'ordre de 4,5 L/mn).

Ci-dessous sont reportées sur l'illustration d'un piézomètre la puissance de la nappe (recoupée par l'ouvrage) et la profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique dans le cas d'un prélèvement mononiveau.



Ci-dessous sont reportées dans deux tableaux la puissance de la nappe (recoupée par l'ouvrage) et la profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique dans le cas d'un prélèvement multiniveau.

Campagne 1 (mai 16)	Pz1	Pz2	Pz3	Pz5	Pz6	Pz10	Pz11	Pz12	Pz13
(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)	3,6	4,2	4,3	5,2	2,6	3,1	3,7	4,5	3,4
(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)	1 2,5	1 3	1 3	1 3	1 2	1 2	1 2,5	1 3	1 2
Campagne 2 (nov. 17)									
Campagne 2 (nov. 17)	Pz1	Pz2	Pz3	Pz5	Pz10	Pz12	Pz14		
(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)	2,5	3,5	3,7	4,4	2,8	4,3	2,8		
(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)	1 2	1 2,5	1 2,8	1 3,3	1 2	1 3	1 2,2		

Résultats d'analyses : les concentrations présentées par la suite ont été déterminées avec une incertitude fournie par le laboratoire (EUROFINS) : cis 1,2-Dichloroéthylène 0,4 ; Tétrachloroéthylène 0,45 ; Trichloroéthylène 0,4. Cette information est reportée sur les graphiques.

Dans les tableaux, le chiffre « 0 » correspond à « <LQ » (Limite de Quantification, également fournie par le laboratoire).

Sur ce site, considérant l'épaisseur limitée de la nappe (zone saturée), l'épaisseur limitée de la zone insaturée (au-dessus de la nappe), et la présence d'habitations à proximité, les prélèvements ont été réalisés dans la partie superficielle, sous 1 m d'eau. La puissance de la nappe a varié de l'ordre de 1 m entre les deux campagnes effectuées, avec une seconde campagne pour laquelle l'épaisseur était moindre.

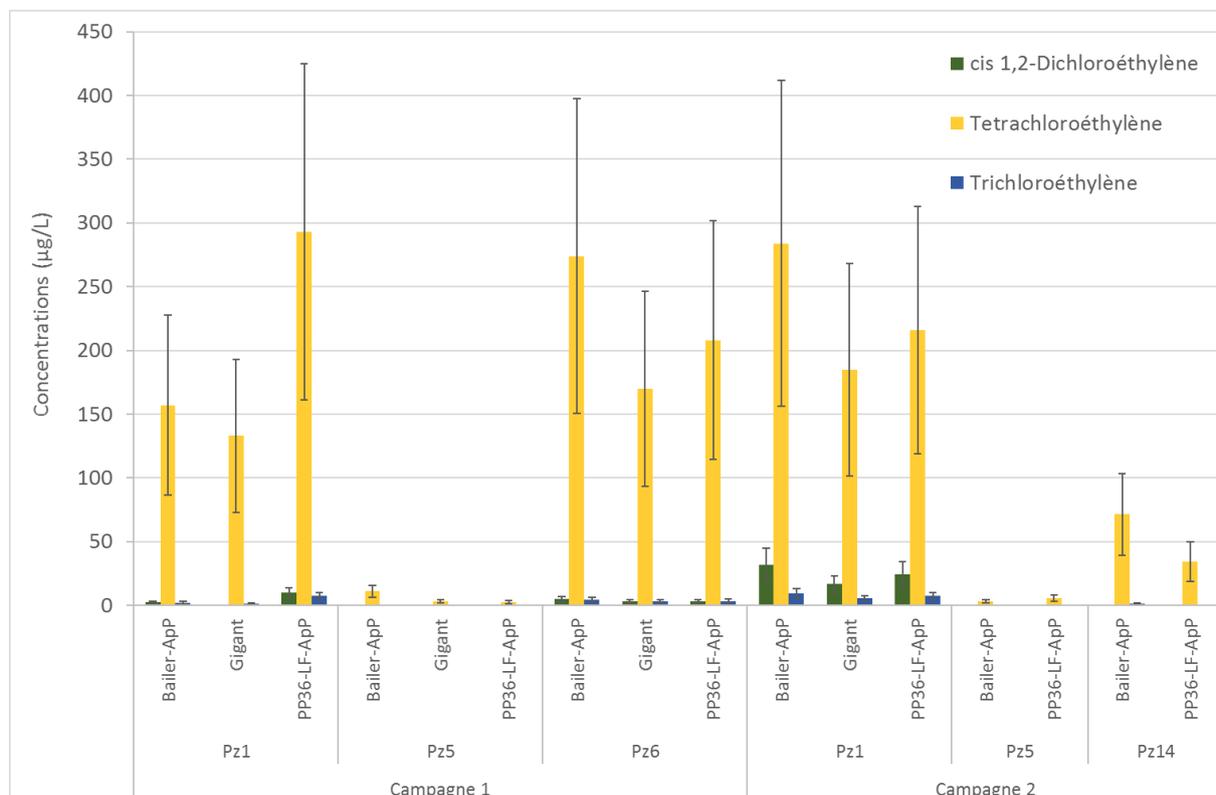


Figure 49 : Site 1 Influence de la profondeur, du dispositif – Concentrations en COHV sur 3 piézomètres pour 2 campagnes (Bailer, Gigant, PP36-LF)

Les résultats illustrés en Figure 49 portent sur un prélèvement après purge. L'ordre de prélèvement était le suivant : Bailer, Gigant puis PP36-LF. Pz1 est un ouvrage à proximité de la source, Pz6 est en aval, dans le panache de pollution, et Pz5 est en bordure latérale de ce panache.

Quels que soient la campagne et le piézomètre concerné, les concentrations varient ; toutefois, elles restent dans l'ensemble dans la gamme d'incertitudes fournie par le laboratoire. Sur Pz1, les concentrations obtenues avec la pompe PP36-LF sont nettement plus élevées au cours de la première campagne. Cependant, la seconde campagne ne confirme pas cette tendance et c'est le bailer qui conduit à obtenir les concentrations les plus élevées.

Afin de valider le plan d'échantillonnage et en particulier le choix de la profondeur de prélèvement (superficielle), des prélèvements à deux niveaux ont été réalisés au cours de ces mêmes campagnes. L'INERIS a eu recours dans ce cadre à la pompe immergée PP36-LF (descendue à deux profondeurs).

Les résultats sont reportés ci-dessous à la Figure 50, les niveaux concernés sont fournis dans les tableaux qui précèdent. A noter que le premier niveau correspond à celui illustré ci-avant (sous 1 m d'eau). Compte-tenu de la puissance de la nappe, les deux niveaux de prélèvements étaient peu éloignés.

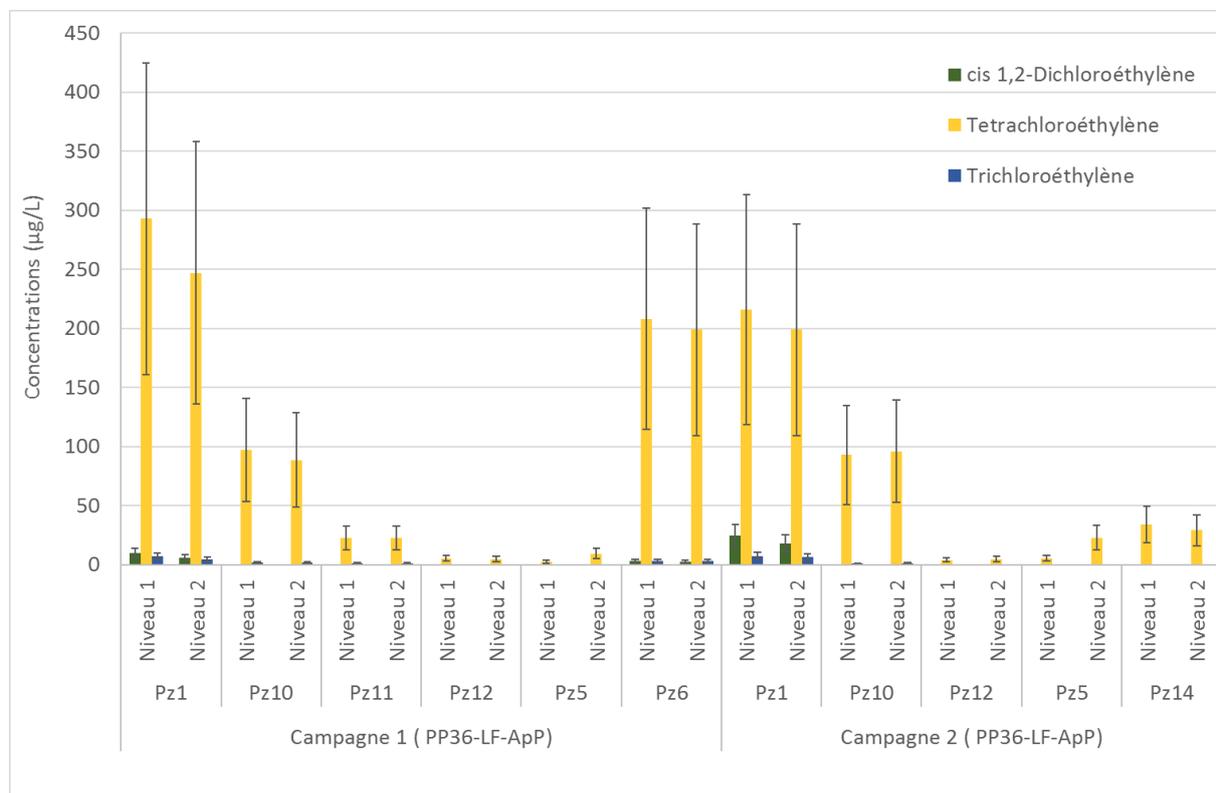


Figure 50 : Site 1 Influence de la profondeur, du dispositif – Concentrations en COHV sur 7 piézomètres pour 2 campagnes avec prélèvements à 2 niveaux (PP36-LF)

En comparant les concentrations obtenues, l'INERIS constate que les différences sont limitées et dans la gamme d'incertitudes du laboratoire. Les variations sont même inférieures à celles observées entre outils dans le cas d'un prélèvement superficiel (cf. graphique précédent).

Bien que les substances concernées et en particulier le tétrachloroéthylène (PCE) et le trichloroéthylène (TCE) aient une densité supérieure à celle de l'eau ($d > 1$) en phase pure, et considérant la faible épaisseur de la nappe (d'où des niveaux séparés de 1 à 2 m), ces résultats illustrent l'absence de stratification du panache de pollution (dissous) en aval hydraulique de la zone source : quel que soit le niveau retenu, les concentrations à exploiter *in fine* varient peu ou restent dans la gamme d'incertitudes.

Les résultats des campagnes portant sur des substances de la famille des COHV présentes au sein d'une nappe alluviale donnent dans la plupart des cas des concentrations comparables pour les trois outils et protocoles de prélèvement testés sur ce site (considérant l'incertitude analytique). Ponctuellement, sur Pz1, ouvrage proche de la zone source et en présence de phase pure ou d'émulsion, des variations ont néanmoins été constatées en fonction de l'outil employé (Bailer, Gigant, PP36-LF). Malgré la recherche de COHV (PCE et TCE d>1 en phase pure, DNAPL), un prélèvement à plusieurs niveaux ne s'avère pas pertinent ici, ce constat est cohérent au regard de la puissance de la nappe et de la profondeur du prélèvement.

Site 2 - ICPE en activité

Protocole de prélèvement : utilisation d'une pompe immergée pour échantillonnage après une purge. La purge a été réalisée à l'aide de la pompe MP1, à la même profondeur que l'échantillonnage et pour un débit de l'ordre de 8 L/mn (critères d'arrêt : stabilisation des paramètres physico-chimiques et *a minima* 3 volume de puits).

Selon les ouvrages, jusqu'à 3 pompes immergées ont été employées suite à la réalisation d'une purge à l'aide de la pompe MP1. Outre le diamètre et la longueur de l'outil, le paramètre qui varie selon le dispositif employé est ici le débit de prélèvement :

- pompe MP1, débit de prélèvement modulable (de l'ordre de 2 L/mn) ;
- pompe PP36-LF, débit de prélèvement modulable (<1 L/mn) ;
- pompe Gigant, débit non modulable (de l'ordre de 4,5 L/mn).

	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Campagne 1 (avril 16)</th> <th>Pz2</th> <th>Pz3</th> <th>Pz8</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)</td> <td>9</td> <td>9</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)</td> <td>7</td> <td>7</td> <td>7</td> </tr> </tbody> </table>	Campagne 1 (avril 16)	Pz2	Pz3	Pz8	(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)	9	9	9	(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)	7	7	7
	Campagne 1 (avril 16)	Pz2	Pz3	Pz8									
	(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)	9	9	9									
	(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)	7	7	7									
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Campagne 2 (oct. 16)</th> <th>Pz2</th> <th>Pz3</th> <th>Pz8</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)</td> <td>8</td> <td>8</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)</td> <td>6</td> <td>6</td> <td>6</td> </tr> </tbody> </table>	Campagne 2 (oct. 16)	Pz2	Pz3	Pz8	(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)	8	8	8	(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)	6	6	6
	Campagne 2 (oct. 16)	Pz2	Pz3	Pz8									
	(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)	8	8	8									
	(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)	6	6	6									
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Campagne 3 (avril 17)</th> <th>Pz2</th> <th>Pz3</th> <th>Pz8</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)</td> <td>8,5</td> <td>8,5</td> <td>8,5</td> </tr> <tr> <td>(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)</td> <td>6,5</td> <td>6,5</td> <td>6,5</td> </tr> </tbody> </table>	Campagne 3 (avril 17)	Pz2	Pz3	Pz8	(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)	8,5	8,5	8,5	(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)	6,5	6,5	6,5
	Campagne 3 (avril 17)	Pz2	Pz3	Pz8									
	(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)	8,5	8,5	8,5									
	(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)	6,5	6,5	6,5									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Campagne 4 (oct. 17)</th> <th>Pz2</th> <th>Pz3</th> <th>Pz8</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)</td> <td>6,5</td> <td>6,5</td> <td>6,5</td> </tr> <tr> <td>(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)</td> <td>4,5</td> <td>4,5</td> <td>4,5</td> </tr> </tbody> </table>	Campagne 4 (oct. 17)	Pz2	Pz3	Pz8	(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)	6,5	6,5	6,5	(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)	4,5	4,5	4,5	
Campagne 4 (oct. 17)	Pz2	Pz3	Pz8										
(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)	6,5	6,5	6,5										
(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)	4,5	4,5	4,5										

Résultats d'analyses : les concentrations présentées par la suite ont été déterminées avec une incertitude fournie par le laboratoire (EUROFINS) : Benzène 0,5 ; Toluène 0,3 ; Ethylbenzène 0,55 ; Xylène (méta-, para-) 0,5 ; o-Xylène 0,5 ; HCT 0,2 et Naphtalène 0,4. Cette information est reportée sur les graphiques.

Sur ce site, la surveillance du milieu eu souterraine est liée, d'une part, à l'activité en cours (autosurveillance), d'autre part, à une ancienne pollution superficielle (la source a été maîtrisée mais une pollution résiduelle persiste) : les prélèvements ont été effectués à une seule profondeur au sein de la nappe de la Craie, dans la partie superficielle (sous 4,5 à 7 m d'eau, à partir de piézomètres de l'ordre de 10 m de profondeur). Les ouvrages existants ne recoupent pas l'ensemble de la colonne d'eau, sa hauteur est de l'ordre de 35 m.

Les résultats illustrés en Figure 51 portent sur un prélèvement après purge. Ils ont été acquis sur des piézomètres permettant de suivre l'évolution de la pollution résiduelle et sur lesquels les concentrations en hydrocarbures sont supérieures à la LQ (Pz2 et Pz3 sont dans le panache de pollution, Pz8 est en aval).

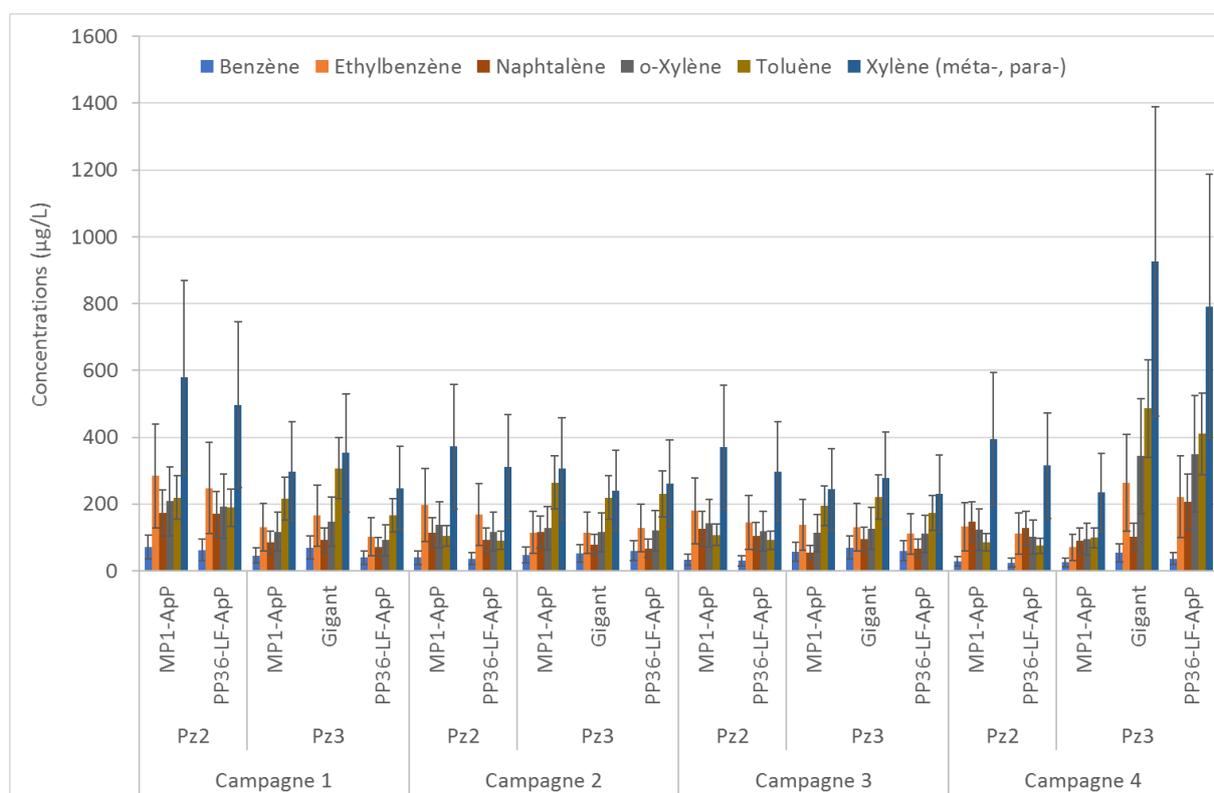


Figure 51 : Site 2 Influence de la profondeur, du dispositif – Concentrations en substances hydrocarbures identifiées (>LQ) sur 2 piézomètres pour 4 campagnes (MP1, Gigant, PP36-LF)

L'ordre de prélèvement était le suivant : MP1 (en place suite à la purge), Gigant puis PP36-LF. Des variations sont constatées quels que soit la campagne et le piézomètre mais les différences sont limitées et dans la gamme d'incertitudes du laboratoire en Pz2 (comme en Pz8 non reporté ici car résultats <LQ).

Ils sont plus contrastés pour le Pz3 et en particulier avec la pompe Gigant et ponctuellement avec la pompe PP36-LF (cf. Gigant campagne 1, PP36-LF et Gigant campagne 4). En effet, au cours de la campagne 4, et exclusivement en Pz3, les prélèvements associés aux pompes PP36-LF puis Gigant conduisent à des valeurs nettement supérieures à celles liées à un prélèvement à la pompe MP1 (le premier

effectué à la suite de la purge). Le seul événement notable survenu lors de cette campagne était la présence d'une faible épaisseur de phase surnageante observée avant la purge.

La variabilité des résultats sur cet ouvrage est confirmée par les données relatives à l'indice global HCT (hydrocarbures totaux). En effet, pour les HCT, l'ensemble des résultats acquis en Pz3 traduit une variabilité importante selon l'outil employé (cf. Figure 52).

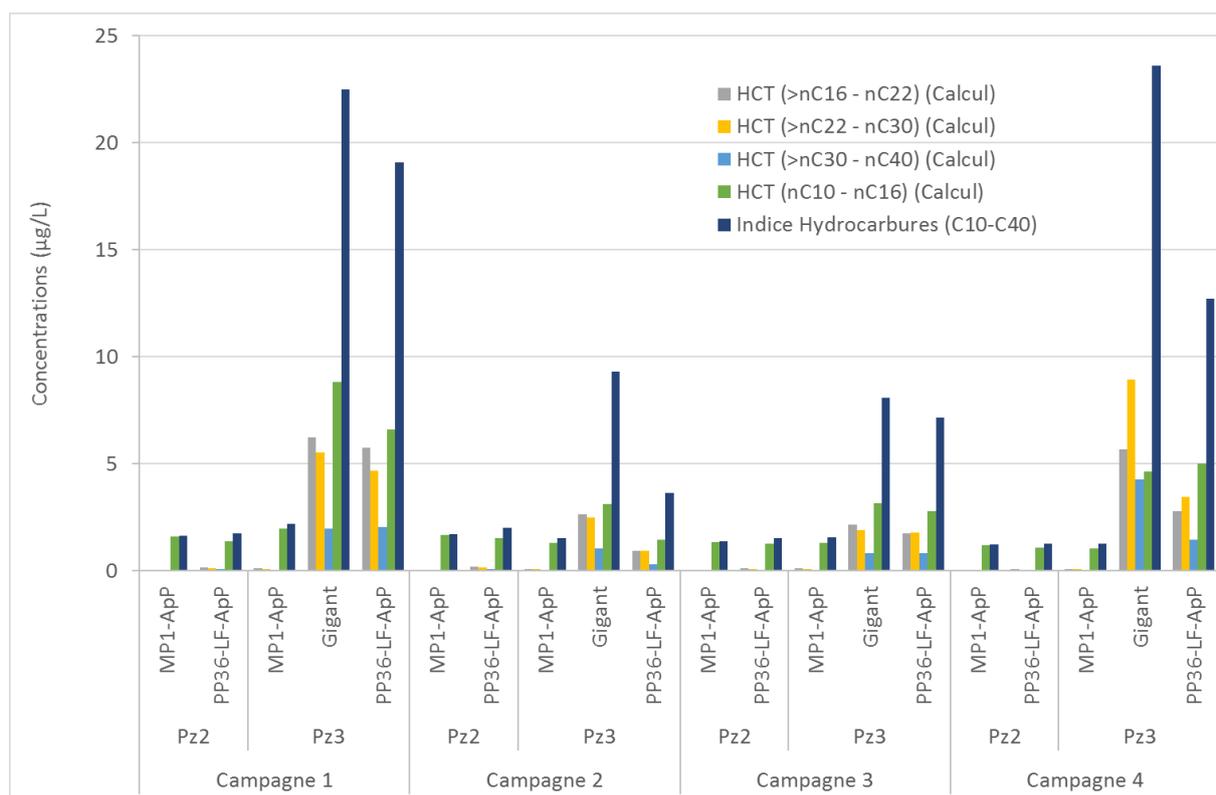


Figure 52 : Site 2 Influence de la profondeur, du dispositif – Indice hydrocarbures (HCT) sur 2 piézomètres pour 4 campagnes (MP1, Gigant, PP36-LF)

Les résultats présentés portent sur des substances hydrocarbures recherchées au sein de la nappe de la Craie (les BTEX et le naphthalène de la famille des HAP). Sur deux piézomètres, Pz2 et Pz8, les concentrations obtenues à partir de deux pompes immergées sont similaires (considérant l'incertitude analytique). Sur Pz3, proche de la source de pollution, les résultats sont plus contrastés. Mais ce constat est à mettre en perspective avec la présence d'une phase huileuse de faible épaisseur observée notamment lors de la campagne où les variations sont les plus importantes (campagne 4). La présence d'une phase pure ou d'une émulsion a une influence sur les concentrations obtenues dans le cadre de cet exercice de comparaison. Ainsi, une variabilité des résultats est observée, mais elle est sans doute plus liée à cette présence qu'au changement d'outil et au protocole employés.

La surveillance d'une pollution résiduelle ainsi que la surveillance de l'effet de l'activité reposent ici sur un prélèvement dans la partie superficielle de la nappe. Ce choix apparaît pertinent et notamment pour suivre l'épaisseur de flottant (cf. BTEX en phase pure, LNAPL).

Site 3 - ICPE en activité (BIOdéPOL)

Protocole de prélèvement : utilisation d'un bailer, d'une pompe pour échantillonnage après une purge. La purge a été réalisée à l'aide de la pompe PP36-LF, à la même profondeur que l'échantillonnage et pour un débit de l'ordre de 8 L/mn (critères d'arrêt : stabilisation des paramètres physico-chimiques et *a minima* 3 volume de puits).

Selon les ouvrages, jusqu'à 3 pompes ont été employées suite à la réalisation d'une purge à l'aide de la pompe PP36-LF. Outre le diamètre et la longueur de l'outil, le paramètre qui varie selon le dispositif employé est ici le débit de prélèvement :

- pompe Péristaltique (en surface), débit de prélèvement non modulable (de l'ordre de 0,2 L/mn) ;
- pompe PP36-LF, débit de prélèvement modulable (de l'ordre de 0,5 L/mn) ;
- pompe Gigant, débit non modulable (de l'ordre de 3 L/mn).

Ci-dessous sont reportées sur l'illustration d'un piézomètre, la puissance de la nappe (recoupée par l'ouvrage) et la profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique dans le cas d'un prélèvement mononiveau.

	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Campagne 2 (fév. 15)</th> <th>Pz6</th> <th>Pz7</th> <th>Pz11</th> <th>Pz43</th> <th>P47</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)</td> <td>17</td> <td>17</td> <td>10,5</td> <td>8</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>					Campagne 2 (fév. 15)	Pz6	Pz7	Pz11	Pz43	P47	(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)	17	17	10,5	8	7	(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)	1	1	1	1	1
	Campagne 2 (fév. 15)	Pz6	Pz7	Pz11	Pz43	P47																	
	(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)	17	17	10,5	8	7																	
	(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)	1	1	1	1	1																	
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Campagne 3 (juin 15)</th> <th>Pz6</th> <th>Pz7</th> <th>Pz43</th> <th>Pz47</th> <th>Pz50</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)</td> <td>16,5</td> <td>16,5</td> <td>7</td> <td>6,5</td> <td>6,5</td> </tr> <tr> <td>(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>					Campagne 3 (juin 15)	Pz6	Pz7	Pz43	Pz47	Pz50	(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)	16,5	16,5	7	6,5	6,5	(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)	1	1	1	1	1
	Campagne 3 (juin 15)	Pz6	Pz7	Pz43	Pz47	Pz50																	
	(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)	16,5	16,5	7	6,5	6,5																	
	(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)	1	1	1	1	1																	
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Campagne 4 (sept 15)</th> <th>Pz43</th> <th>Pz44</th> <th>Pz47</th> <th>Pz50</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)</td> <td>6,5</td> <td>5,5</td> <td>5,5</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>					Campagne 4 (sept 15)	Pz43	Pz44	Pz47	Pz50	(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)	6,5	5,5	5,5	6	(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)	1	1	1	1			
Campagne 4 (sept 15)	Pz43	Pz44	Pz47	Pz50																			
(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)	6,5	5,5	5,5	6																			
(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)	1	1	1	1																			

Ci-dessous sont reportées dans un tableau la puissance de la nappe (recoupée par l'ouvrage) et la profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique dans le cas d'un prélèvement multiniveau.

Campagne 2 (fév. 15)	Pz43	Pz47	Campagne 3 (juin 15)	Pz50
(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)	8	7	(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)	6,5
(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)	1 3,5 7,5	1 3 6	(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)	1 3,5 5,5

Résultats d'analyses : les concentrations présentées par la suite ont été déterminées avec une incertitude fournie par le laboratoire (laboratoire AGROLAB retenu par les partenaires de BIODÉPOL). Les incertitudes concernant les principales substances citées dans le texte sont : Benzène 0,14 ; Xylène (méta-, para-) 0,18 ; Naphtalène 0,13. Cette information est reportée sur les graphiques.

A noter que l'estimation par le calcul des incertitudes liées à l'analyse repose sur des méthodes différentes selon les laboratoires (AGROLAB et EUROFINS). Dans le cadre de cette comparaison ce changement n'a pas d'influence - les résultats fournis par AGROLAB ont été utilisés ici – toutefois, le lecteur observera pour une même substance (ex. benzène) des gammes d'incertitudes différentes selon le site.

De nombreux outils et protocoles de prélèvement ont été testés dans le cadre du projet BIODéPOL, projet qui a permis à l'INERIS d'initier cet exercice de comparaison. Le présent document traite en priorité du choix de la profondeur et ne reprend qu'une partie des résultats acquis via différents dispositifs. Le lecteur pourra se reporter au rapport BIODéPOL dédié à cet aspect pour plus de renseignements et notamment y trouver une description des dispositifs employés (cf. ineris.fr).

Pour évaluer en particulier l'influence des flux verticaux sur la mesure et l'échantillonnage, un dispositif permettant de couper ces flux dans l'ouvrage a été mis en place par l'INERIS (cf. Figure 53). Le dispositif « MLPS » pour Multi-Level Passive Sampler peut être considéré comme un support permettant de couper les flux verticaux - au sein du tubage - tout en mettant en place des échantillonneurs passifs à l'équilibre ou intégratif à différents niveaux.

Le système MLPS a été équipé de PDB lors de deux campagnes (campagnes 2 et 3). Les photos suivantes décrivent le dispositif MLPS équipé (A) et sa mise en place dans un ouvrage de 2,5 pouces (B).

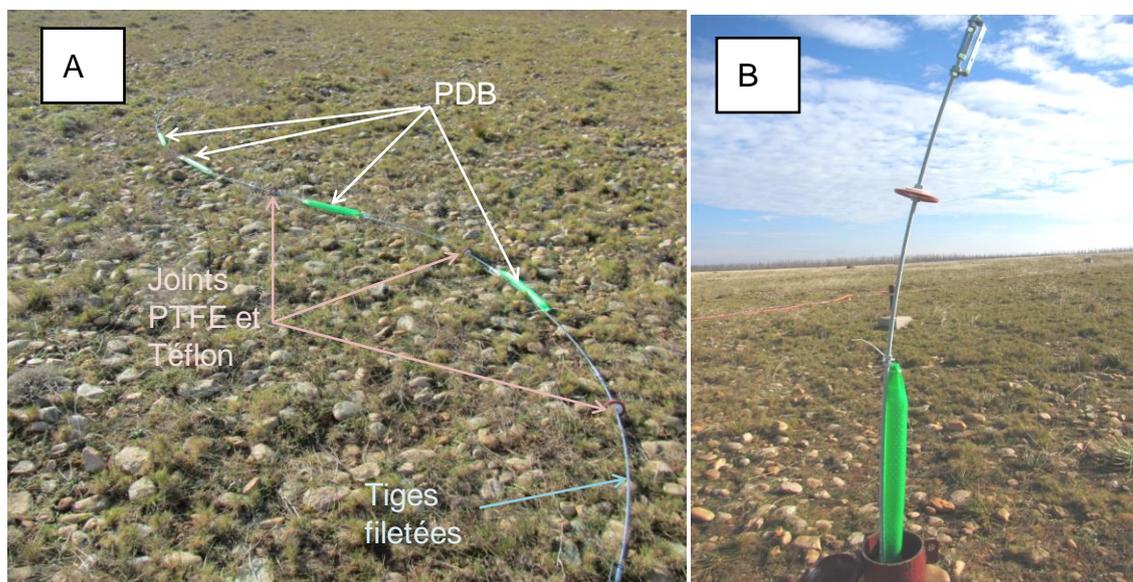


Figure 53 : Dispositif « MLPS » pour Multi-Level Passive Sampler (INERIS, 2016 – BIODéPOL)

Les données présentées ci-après ont été acquises dans l'aquifère de la Crau, impacté en 2009 suite à la rupture d'un pipeline transportant du pétrole brut. Des mesures d'urgence ont permis de circonscrire la pollution mais une pollution résiduelle demeure et impacte le milieu eau souterraine. Sur ce site, la profondeur de prélèvement a été testée en considérant d'une part, un prélèvement superficiel, et d'autre part, un prélèvement à plusieurs profondeurs (3 à 4 m selon la puissance de la nappe).

Concernant le prélèvement mononiveau, la partie superficielle de la nappe a été retenue considérant l'origine « récente » de la pollution et l'épaisseur de la zone non saturée (de l'ordre de 9 m).

Les résultats illustrés ci-dessous concernent un prélèvement après purge et des traceurs de la pollution : BTEX, naphtalène (substances dissoutes).

A noter que l'ordre de prélèvement était le suivant : Bailer, PP36-LF, Péristaltique et Gigant.

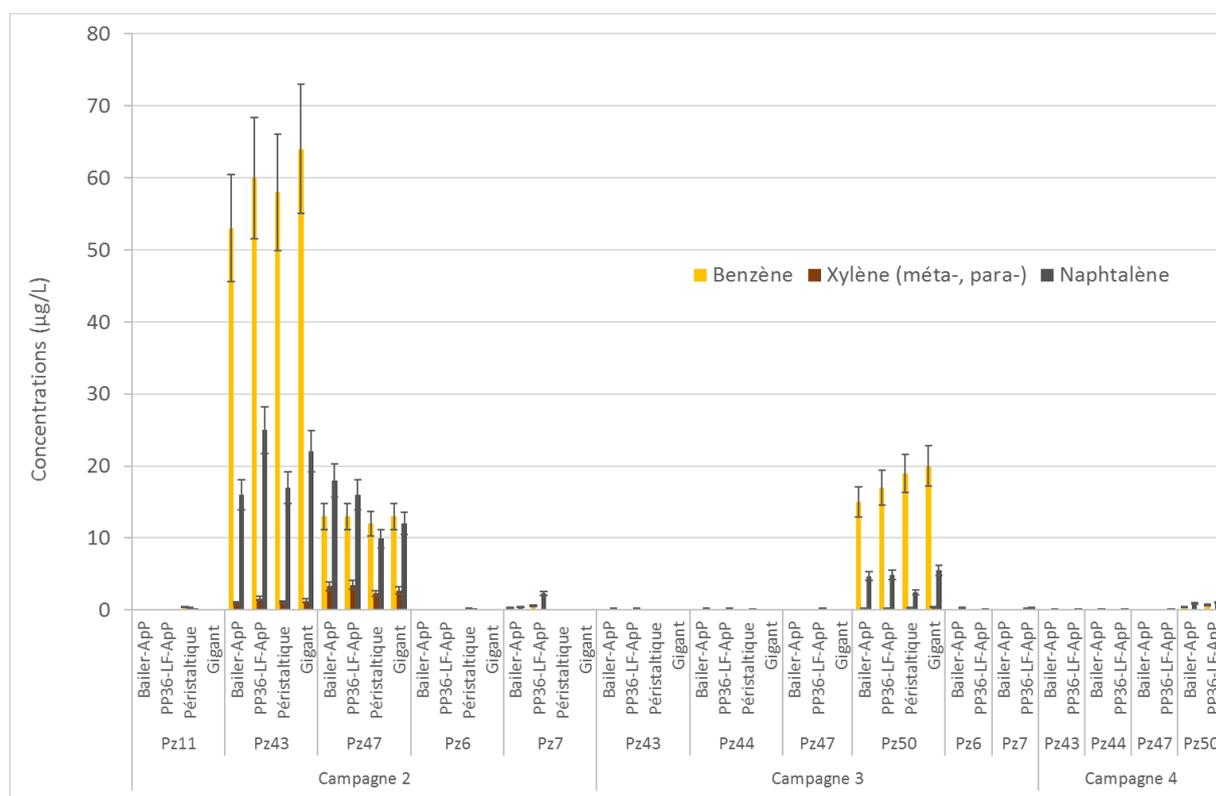


Figure 54 : Site 3 Influence de la profondeur, du dispositif – Concentrations en substances hydrocarbures identifiées (>LQ) sur 7 piézomètres pour 3 campagnes (Bailer, PP36-LF, Péristaltique, Gigant)

Les données illustrées à la Figure 54 concernent des ouvrages plus ou moins éloignés de la zone impactée et de la source de pollution résiduelle. Pz43 et Pz50 sont ainsi plus proches de cette zone que l'ouvrage Pz11 par exemple. L'INERIS observe peu de variation selon l'outil et le protocole retenu (considérant l'incertitude analytique).

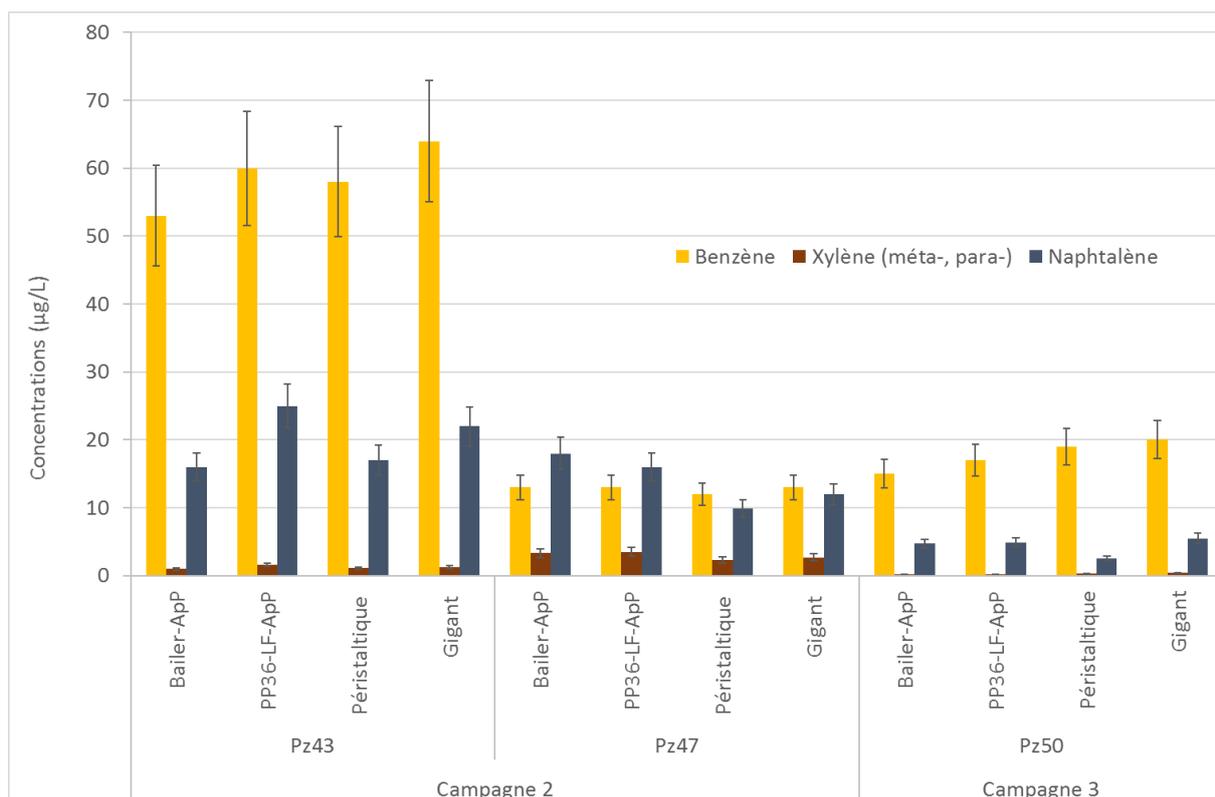


Figure 55 : Site 3 Influence de la profondeur, du dispositif – Concentrations en substances hydrocarbures identifiées (>LQ) sur 3 piézomètres pour 2 campagnes (Bailer, PP36-LF, Péristaltique, Gigant)

Concernant 3 ouvrages proches de la zone source, l'INERIS observe peu de variation selon l'outil et le protocole retenu (considérant l'incertitude analytique). En effet, pour les 3 substances identifiées (>LQ), les concentrations sont similaires, du même ordre de grandeur (cf. Figure 55).

Pour aller plus loin et valider le choix d'une surveillance dans la partie superficielle de la nappe, l'INERIS a également mis en œuvre des prélèvements multiniveaux.

Les concentrations obtenues sur les ouvrages où des valeurs supérieures à la LQ ont été déterminées sont reportées ci-après (cf. Figure 56, Figure 57 et Figure 58). Il s'agit de nouveau du Pz43, du Pz47 et du Pz50. Notons que le prélèvement sous obturateurs n'a pas pu être réalisé sur ces trois ouvrages (diamètre de certains ouvrages du site supérieur à celui obturé par le système acquis).

Le niveau 1 correspond à celui illustré ci-avant (sous 1 m d'eau).

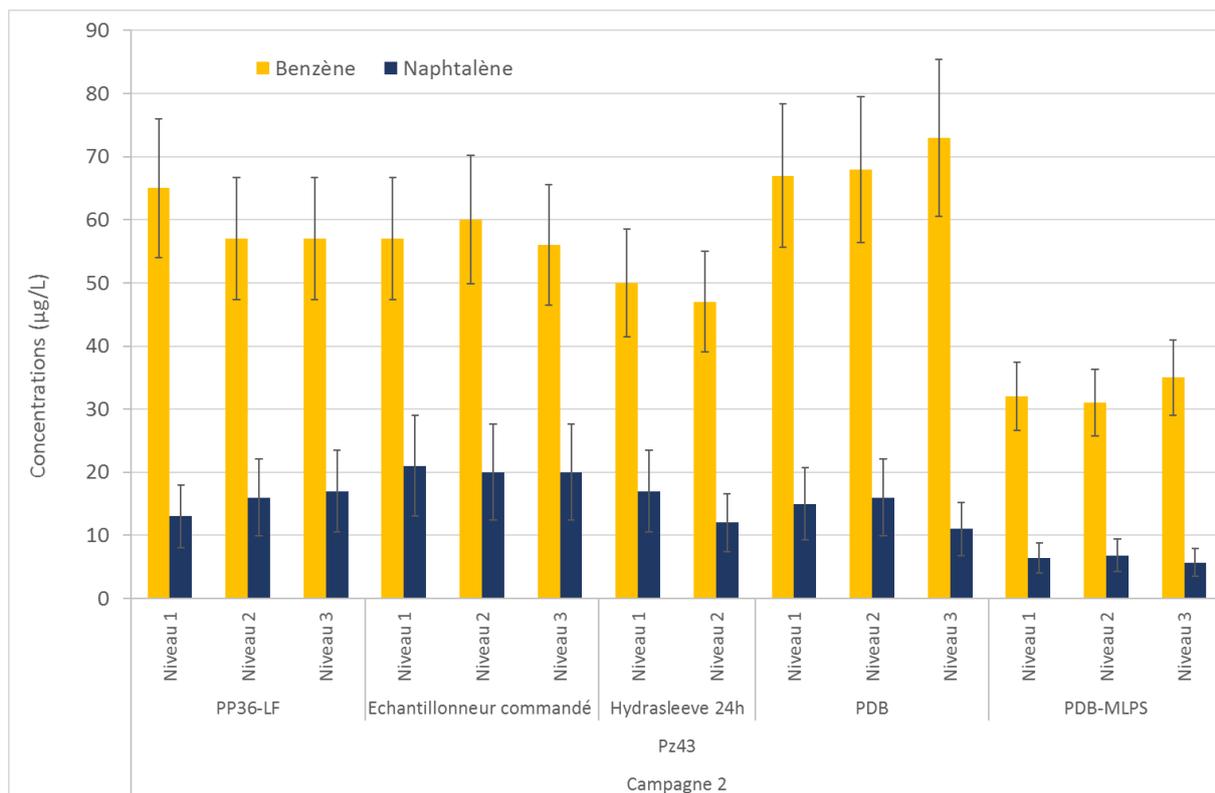


Figure 56 : Site 3 Influence de la profondeur, du dispositif – Concentrations en Benzène et Naphtalène sur 1 piézomètre (Pz43) pour la seconde campagne avec prélèvements à 3 niveaux (5 dispositifs)

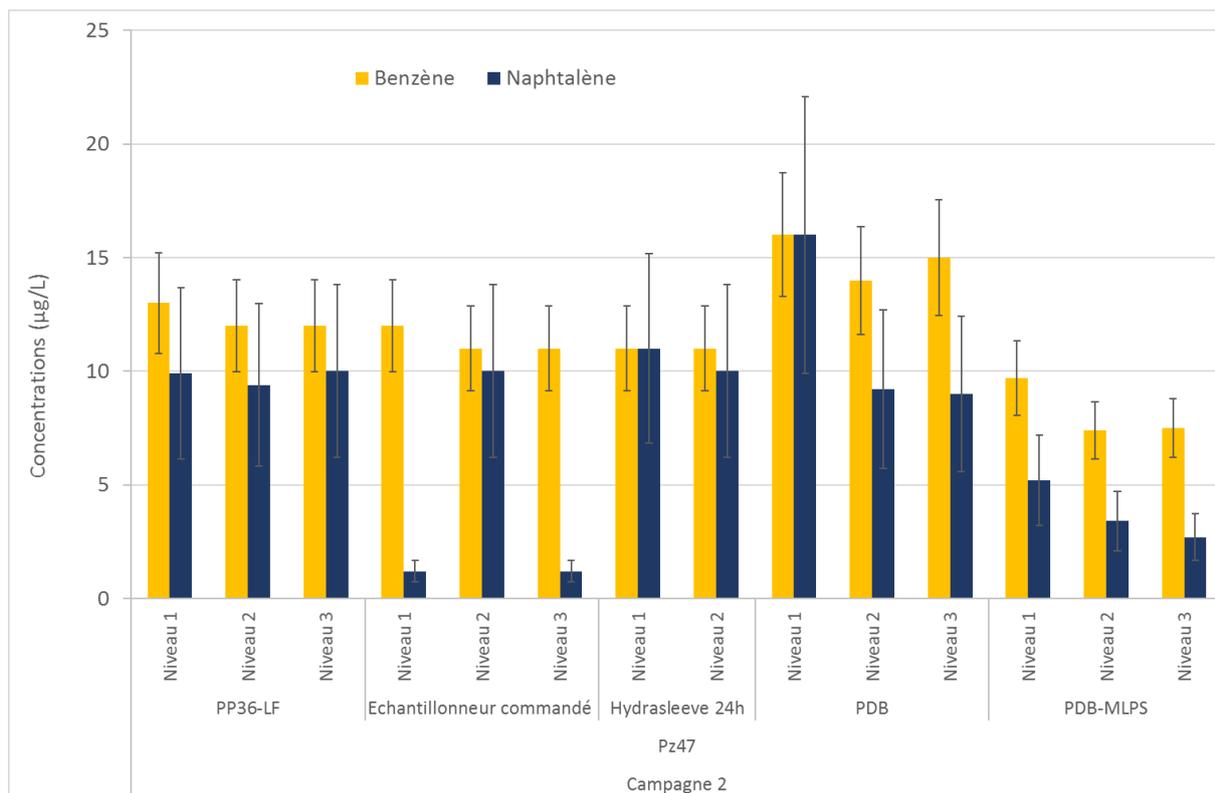


Figure 57 : Site 3 Influence de la profondeur, du dispositif – Concentrations en Benzène et Naphtalène sur 1 piézomètre (Pz47) pour la seconde campagne avec prélèvements à 3 niveaux (5 dispositifs)

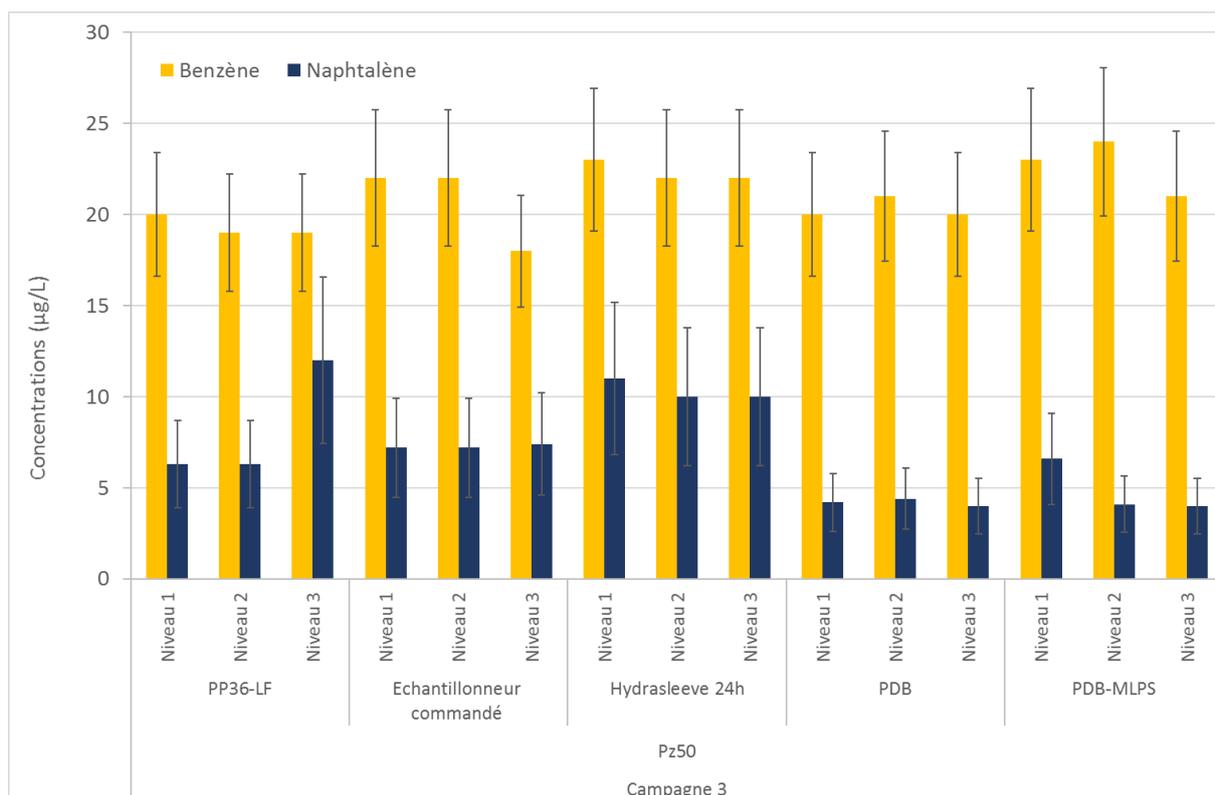


Figure 58 : Site 3 Influence de la profondeur, du dispositif – Concentrations en Benzène et Naphtalène sur 1 piézomètre (Pz50) pour la seconde campagne avec prélèvements à 3 niveaux (5 dispositifs)

Les valeurs obtenues sont dans l'ensemble similaires aux 3 niveaux compte-tenu de l'incertitude du laboratoire. Entre dispositifs, des variations sont observées, en particulier entre PDB et PDB-MLPS. Ce constat traduit plus vraisemblablement une évolution des concentrations au sein du milieu qu'une différence entre PDB et PDB-MLPS. En effet, les PDB ont été installés en début de campagne et les PDB-MLPS en fin de campagne : plus de trois semaines se sont écoulées entre les deux (durée liée au temps d'équilibre, de mise en place et de retrait). Ainsi, ces deux dispositifs ne peuvent pas être comparés *sensus stricto* aux autres, ils permettent toutefois de vérifier et de valider le choix de la profondeur de prélèvement.

Les données acquises au cours de la seconde campagne avec l'échantillonneur commandé en Pz47 dénotent. Au regard des autres résultats (dont ceux pour le benzène), ce constat pourrait être attribué à un problème au cours de l'analyse de cette substance spécifique.

Point d'attention :

Ce constat permet de rappeler au lecteur que, comme lors de l'étape de prélèvement ou de transport, l'étape d'analyse peut donner lieu à des résultats erronés (cf. contamination croisée, interprétation chromat., etc.). Bien qu'il soit parfois difficile de faire la part des choses, en particulier dans le cadre d'un suivi plus « classique » que celui mis en œuvre ici, il convient d'en être conscient lors de l'interprétation.

Considérant l'ensemble des données acquises, l'INERIS note :

- des concentrations comparables sur les 3 niveaux ;
- des concentrations comparables avec PP36-LF, échantillonneur commandé et hydrasleeve (en place durant 24h).

Ci-dessous, en Figure 59 et Figure 60, les éléments issus du Pz43 sont repris sous une autre forme afin de mettre en exergue la similarité des résultats obtenus aux différents niveaux de la nappe (l'incertitude n'est pas reportée pour faciliter la lecture).

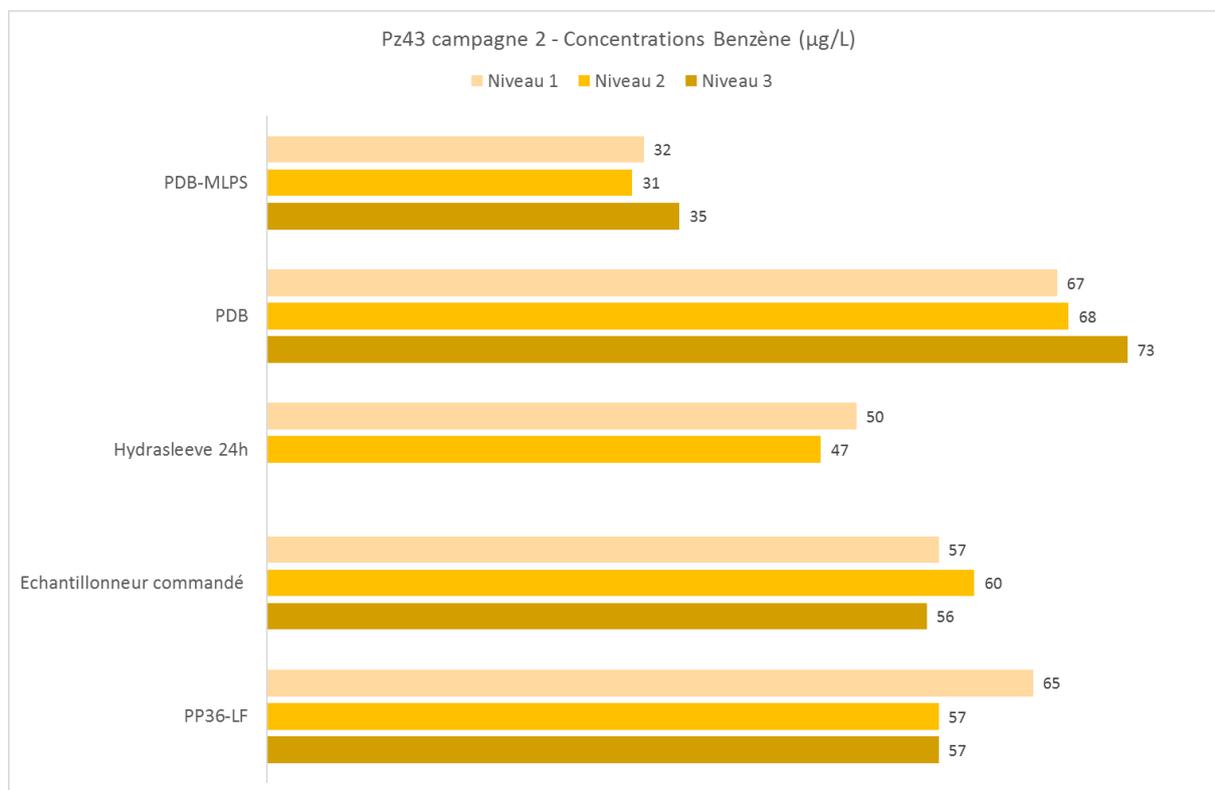


Figure 59 : Site 3 Influence de la profondeur, du dispositif – Concentrations en Benzène sur 1 piézomètre (Pz43) pour la seconde campagne avec prélèvements à 3 niveaux (5 dispositifs)

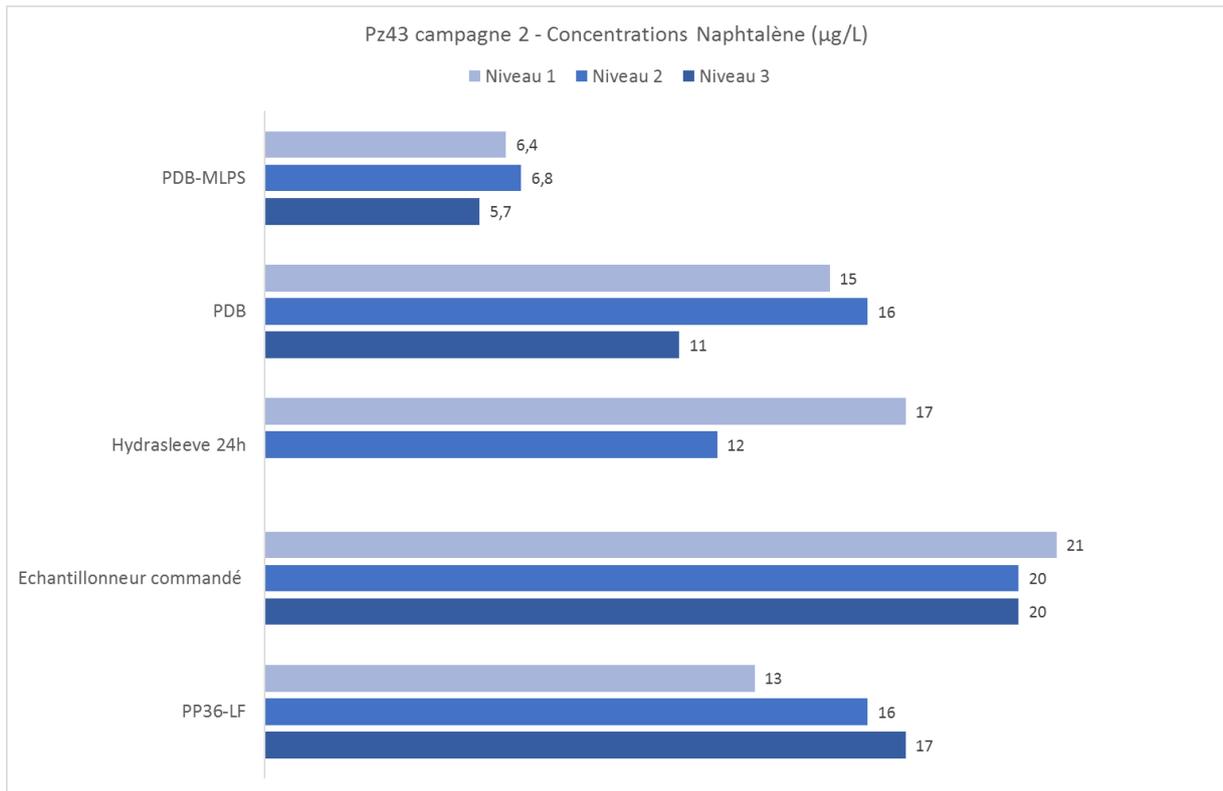


Figure 60 : Site 3 Influence de la profondeur, du dispositif – Concentrations en Naphtalène sur 1 piézomètre (Pz43) pour la seconde campagne avec prélèvements à 3 niveaux (5 dispositifs)

Ce constat, pour des situations où la nappe avait une épaisseur de 6,5 à 8 m, confirme que le prélèvement superficiel est adapté et proportionné au suivi réalisé sur ce site.

Comme mentionné précédemment, la présence de flux verticaux peut faciliter l'homogénéisation des solutés sur tout ou partie de la colonne d'eau. Les flux verticaux sont de deux types (cf. Figure 48), il peut s'agir de flux :

- internes au tubage ;
- au sein du massif filtrant introduit pour équiper le forage en piézomètre (espace annulaire).

De nos jours, la technique la plus efficace pour assurer l'absence de flux au sein du massif filtrant consiste à réaliser des piézomètres en flûte de pan, illustrés ci-après (cf. Figure 61 avec 3 piézomètres atteignant des profondeurs différentes sur la droite).

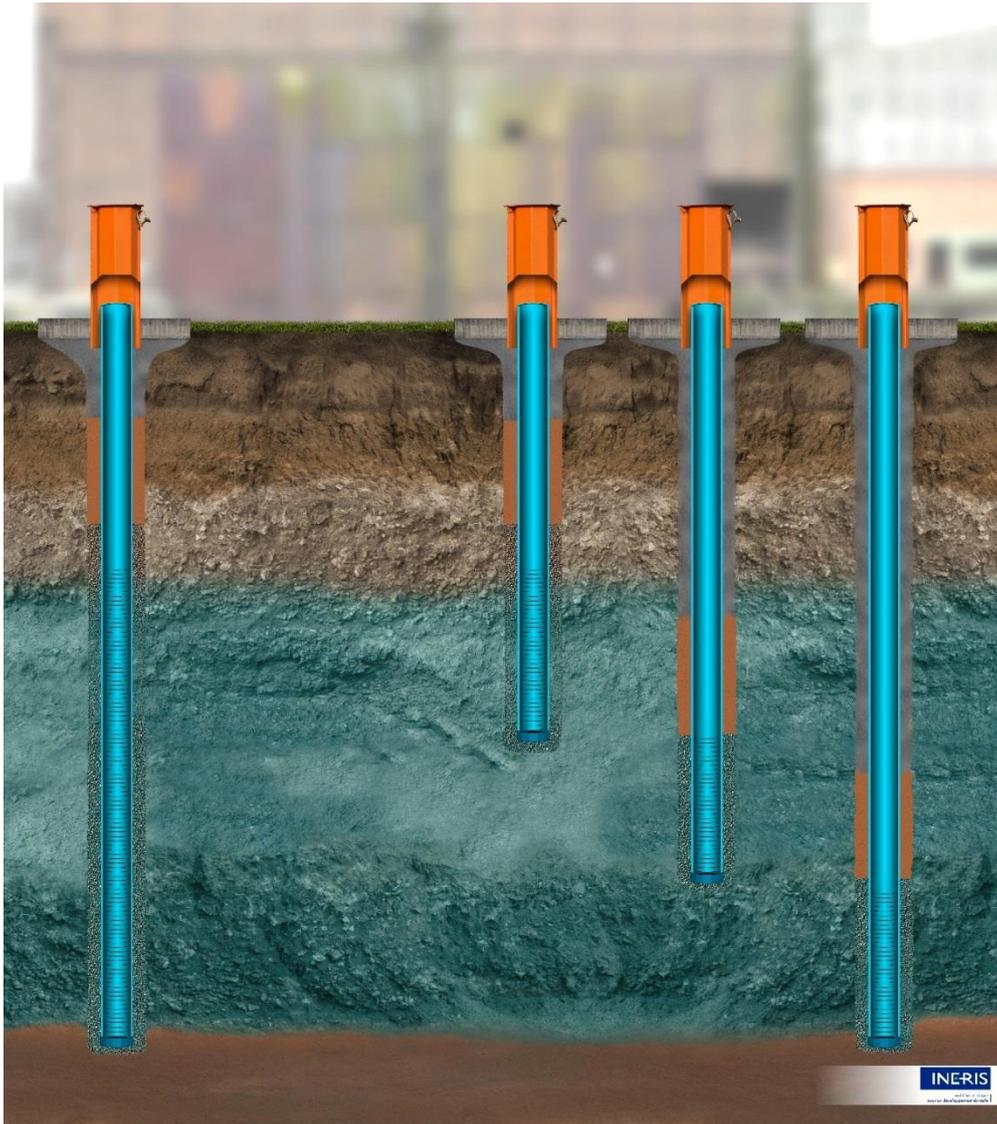
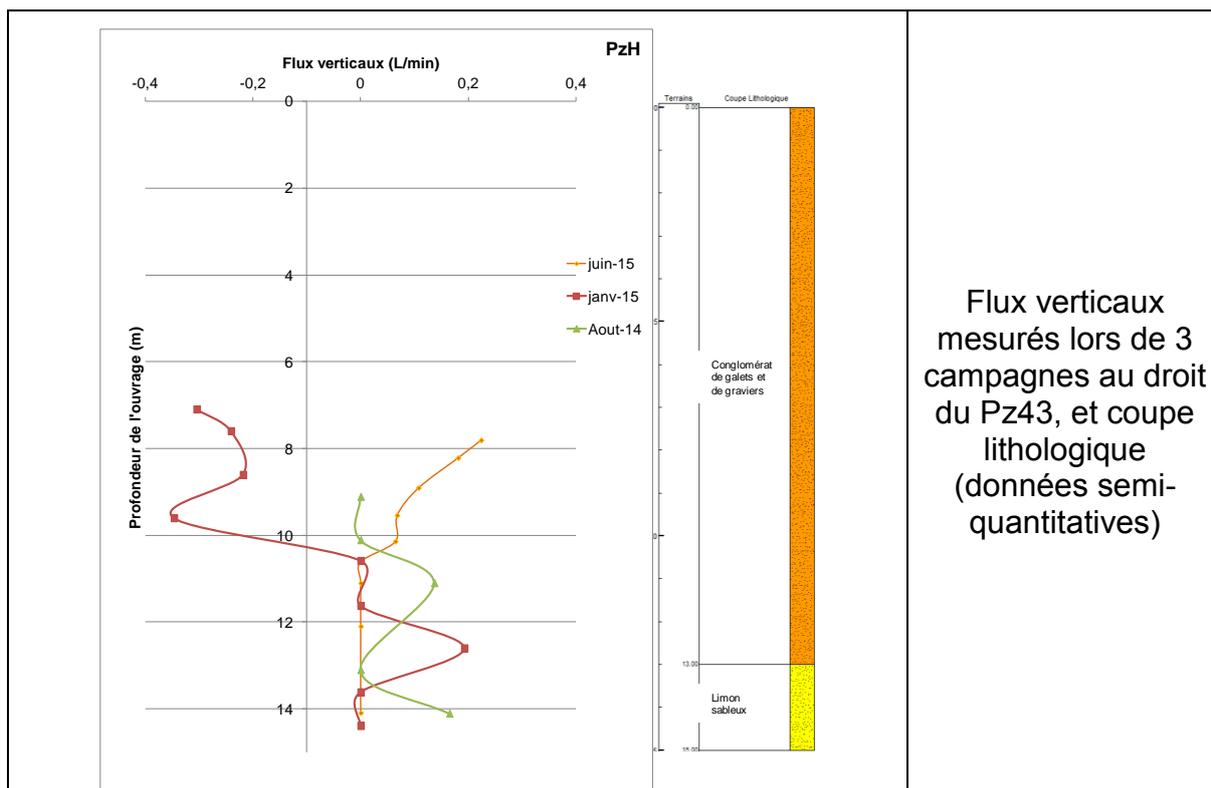


Figure 61 : Piézomètre dit « complet » à gauche et piézomètres en « flûte de pan » à droite

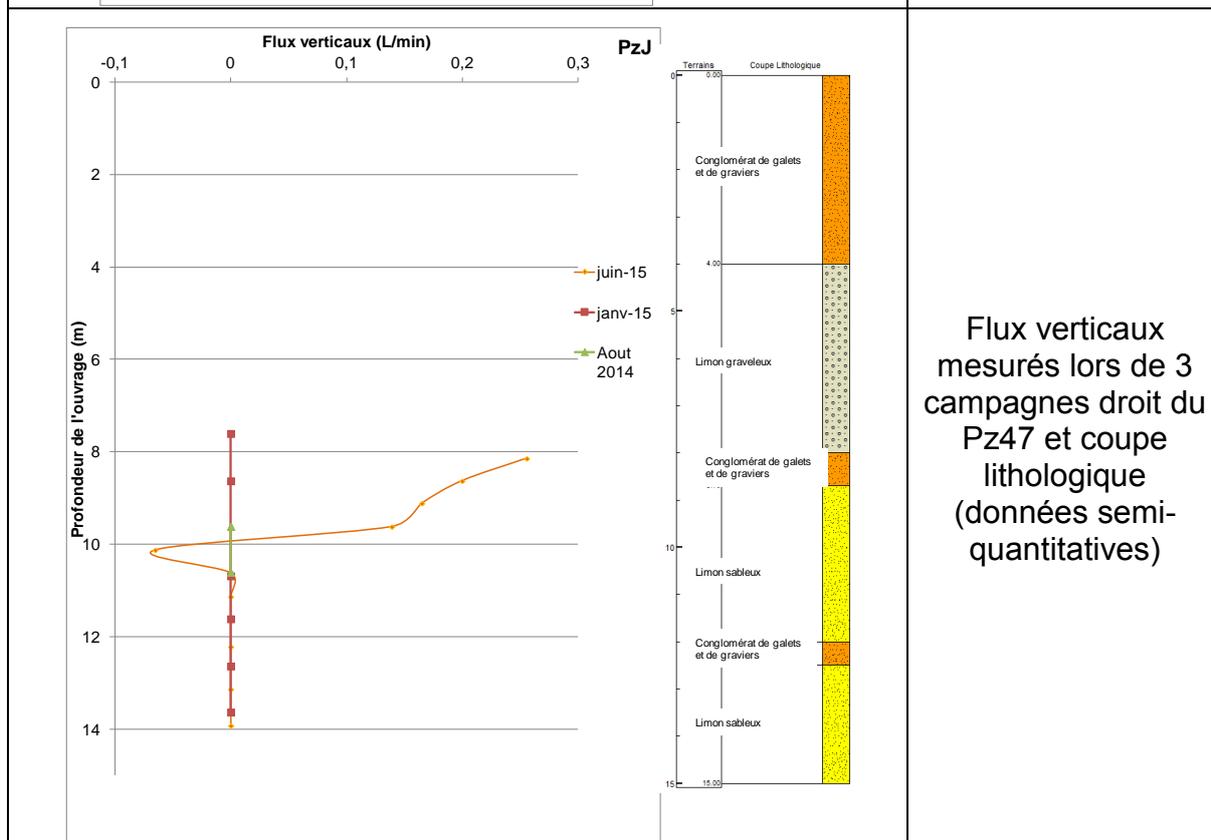
Compte-tenu du coût associé et du fait que ce type d'ouvrage soit peu répandu, de l'ambition de conserver une démarche appliquée à la réalité de ce qui existe actuellement en termes d'ouvrage, aucun piézomètre en flûte de pan n'a été employé dans le cadre de cet exercice de comparaison.

Sur le site étudié, l'INERIS a pu mesurer les flux verticaux (internes au tubage) à l'aide de la sonde « Heat-Pulse Flowmeter » sur 3 campagnes. Les illustrations qui suivent présentent les résultats obtenus.

La lithologie observée lors de la réalisation des forages est indiquée sur ces illustrations. Les flux positifs mettent en évidence des flux verticaux ascendants et les flux négatifs des flux verticaux descendants.



Flux verticaux mesurés lors de 3 campagnes au droit du Pz43, et coupe lithologique (données semi-quantitatives)



Flux verticaux mesurés lors de 3 campagnes droit du Pz47 et coupe lithologique (données semi-quantitatives)

Figure 62 : Site 3 Influence de la profondeur, du dispositif – Flux verticaux sur 2 piézomètres pour 3 campagnes

Les résultats ci-dessus montrent que les flux verticaux varient sensiblement au cours de l'année et que les variations observées selon les campagnes de mesures sont différentes d'un piézomètre à un autre (cf. Figure 62). En effet, au droit du Pz43, lors des campagnes d'août 2014 et de juin 2015, les flux sont principalement ascendants et en janvier 2015, les flux verticaux dans les 4 premiers mètres sont descendants. Les flux descendants observés lors de cette campagne pourraient être liés à un refroidissement du toit de la nappe. Cependant, ces observations n'ont pas été relevées au droit du Pz47 pour la même période. Au droit du Pz47, seule la campagne de mesure de juin 2015 met en évidence la présence d'un flux ascendant, les flux étant inférieurs aux limites de détection de l'appareil lors des 2 autres campagnes.

Sur le site étudié, des flux verticaux ont donc été mis en évidence mais des variations ont pu être constatées :

- sur un même piézomètre pour plusieurs campagnes ;
- entre différents piézomètres pour une même campagne.

Les résultats présentés portent sur des substances hydrocarbures recherchées et identifiées au sein de la nappe de la Crau (les BTEX et le naphthalène de la famille des HAP). Les concentrations obtenues à partir de plusieurs dispositifs sont similaires dans le cas d'un prélèvement mononiveau (partie superficielle de la nappe) et de prélèvements à différents niveaux (considérant l'incertitude analytique). L'INERIS note également l'absence de variation selon les dispositifs testés et le niveau concerné.

Dans le cas du site étudié, la période écoulée depuis l'accident, l'épaisseur de la zone insaturée et les mesures d'urgences prises rapidement ont conduit à orienter la surveillance vers la partie supérieure de la nappe. Les résultats acquis dans le cadre de cet exercice confirment la pertinence de ce choix.

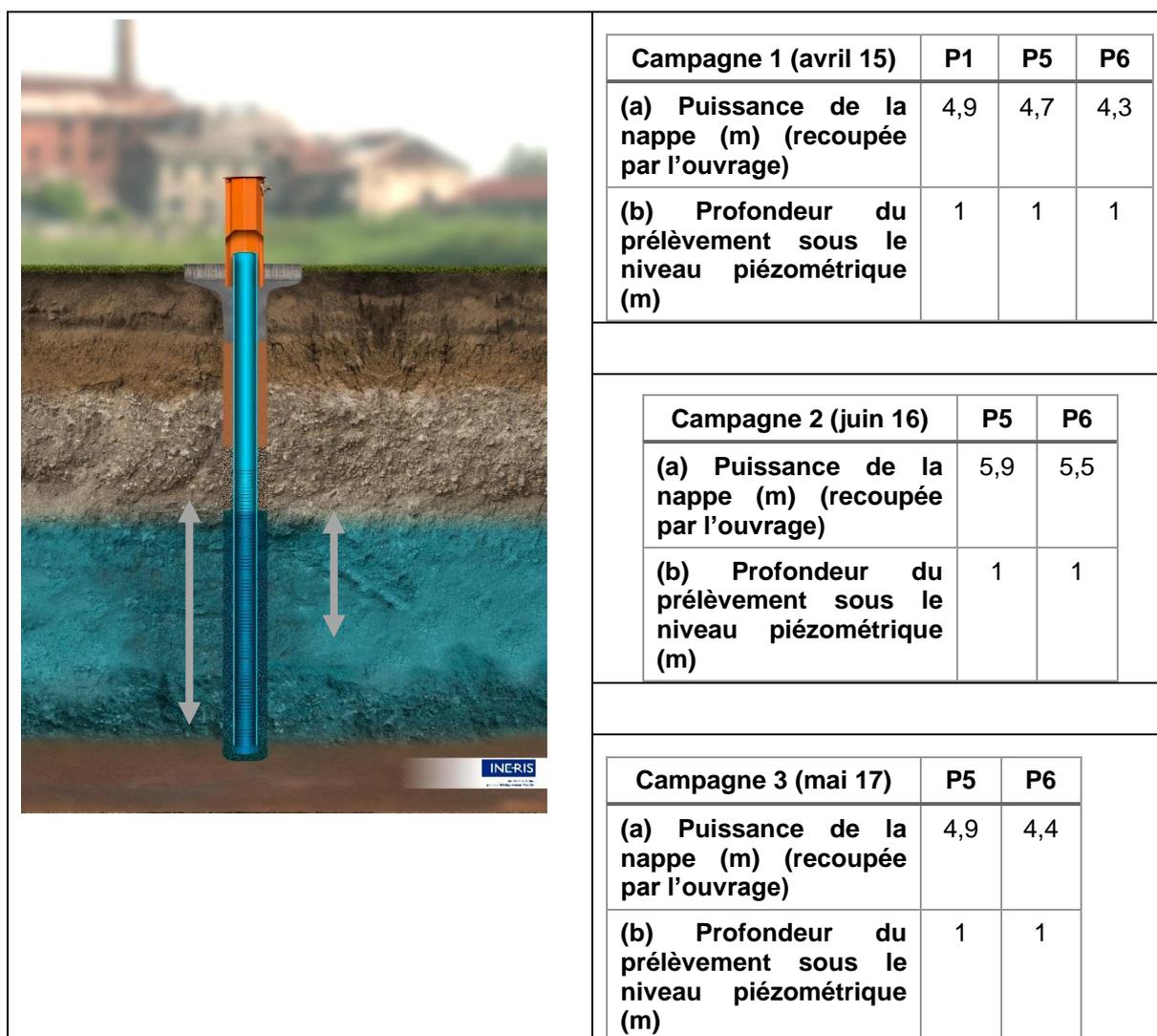
Site 4 - ICPE en cessation d'activité

Protocole de prélèvement : utilisation d'une pompe pour échantillonnage après une purge. La purge a été réalisée à l'aide de la pompe PP36-LF, à la même profondeur que l'échantillonnage et pour un débit de l'ordre de 8 L/mn (critères d'arrêt : stabilisation des paramètres physico-chimiques et *a minima* 3 volume de puits).

Selon les ouvrages, jusqu'à 3 pompes ont été employées suite à la réalisation d'une purge à l'aide de la pompe PP36-LF. Outre le diamètre et la longueur de l'outil, le paramètre qui varie selon le dispositif employé est ici le débit de prélèvement :

- pompe Péristaltique (en surface), débit de prélèvement non modulable (de l'ordre de 0,2 L/mn) ;
- pompe PP36-LF, débit de prélèvement modulable (<1 L/mn) ;
- pompe Gigant, débit non modulable (de l'ordre de 3 L/mn).

Ci-dessous sont reportées sur l'illustration d'un piézomètre la puissance de la nappe (recoupée par l'ouvrage) et la profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique dans le cas d'un prélèvement mononiveau.



Ci-dessous sont reportées dans un tableau la puissance de la nappe (recoupée par l'ouvrage) et la profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique dans le cas d'un prélèvement multiniveau.

Campagne 1 (avril 15)	P1	P5
(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)	4,9	4,7
(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)	1	1
	2	2,5
	3,5	4
Campagne 2 (juin 16)	P5	
(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)	5,9	
(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)	1	
	2,5	
	3,5	
Campagne 3 (mai 17)	P5	
(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)	4,9	
(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)	1	
	2,5	
	3,5	

Résultats d'analyses : les concentrations présentées par la suite ont été déterminées avec une incertitude fournie par le laboratoire (EUROFINS), avec pour les substances les plus citées dans le texte : Benzène 0,5 ; Toluène 0,3 ; Ethylbenzène 0,55 ; Xylène (méta-, para-) 0,5 ; o-Xylène 0,5 ; HCT 0,2 ; Naphtalène 0,4 ; Acénaphène 0,4. Cette information est reportée sur les graphiques.

Considérant l'épaisseur limitée de la zone saturée (nappe), les prélèvements ont été réalisés dans la partie superficielle, sous 1 m d'eau. La puissance de la nappe a varié de l'ordre de 1m entre les campagnes effectuées.

Les résultats présentés ci-dessous concernent des résultats après purge du piézomètre, deux ouvrages sont concernés, P5 et P6 (en aval hydraulique de la zone source).

L'ordre de prélèvement était le suivant : Bailer, pompe PP36-LF, pompe Péristaltique et pompe Gigant.

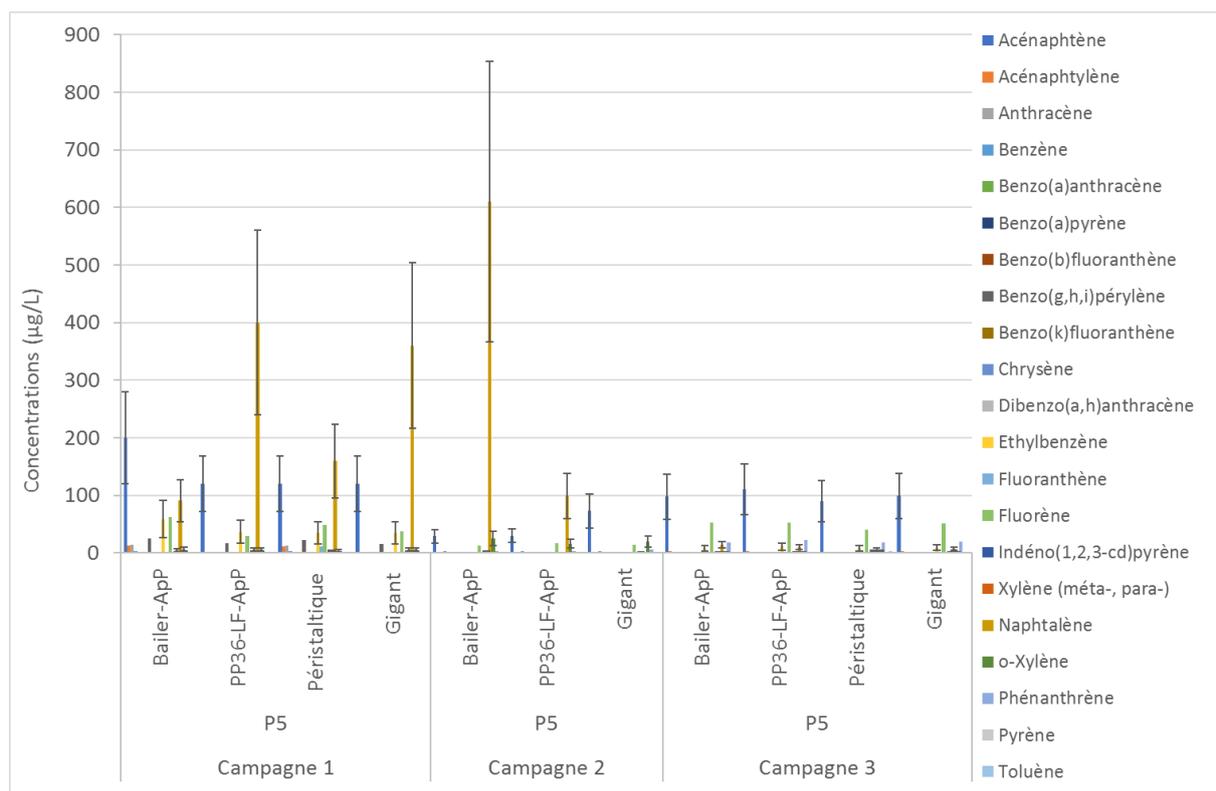


Figure 63 : Site 4 Influence de la profondeur, du dispositif – Concentrations en substances hydrocarbures identifiées (>LQ) sur 1 piézomètre (P5) pour 3 campagnes (Bailer, PP36-LF, Péristaltique, Gigant)

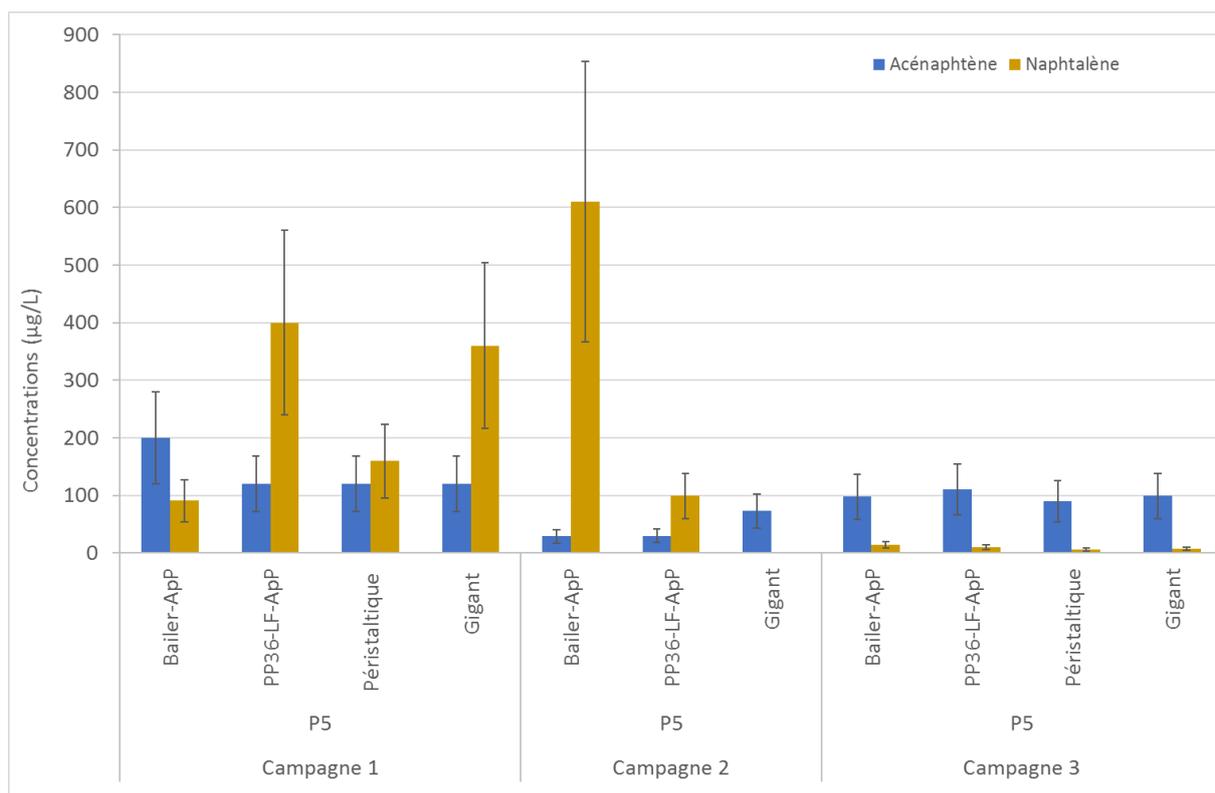


Figure 64 : Site 4 Influence de la profondeur, du dispositif – Concentrations en acénaphthène et naphtalène sur 1 piézomètre (P5) pour 3 campagnes (Bailer, PP36-LF, Péristaltique, Gigant)

En Figure 63 et Figure 64 les concentrations acquises en P5 varient. Ces variations portent, d'une part, sur les trois campagnes elles-mêmes ; en effet, concernant en particulier le naphtalène, la troisième campagne donne des concentrations beaucoup plus faibles que lors des deux précédentes. D'autre part, les concentrations varient en fonction du dispositif employé au sein d'une même campagne. Au cours de la campagne 1 et de la campagne 3, les résultats sont dans l'ensemble comparables, bien que PP36-LF et Gigant conduisent à des concentrations plus élevées en naphtalène. Mais au cours de la campagne 2 les variations sont importantes, notamment pour ce qui est de la concentration en naphtalène liée au bailer.

Ces différences ponctuelles en P5, en particulier en naphtalène, ne peuvent être expliquées.

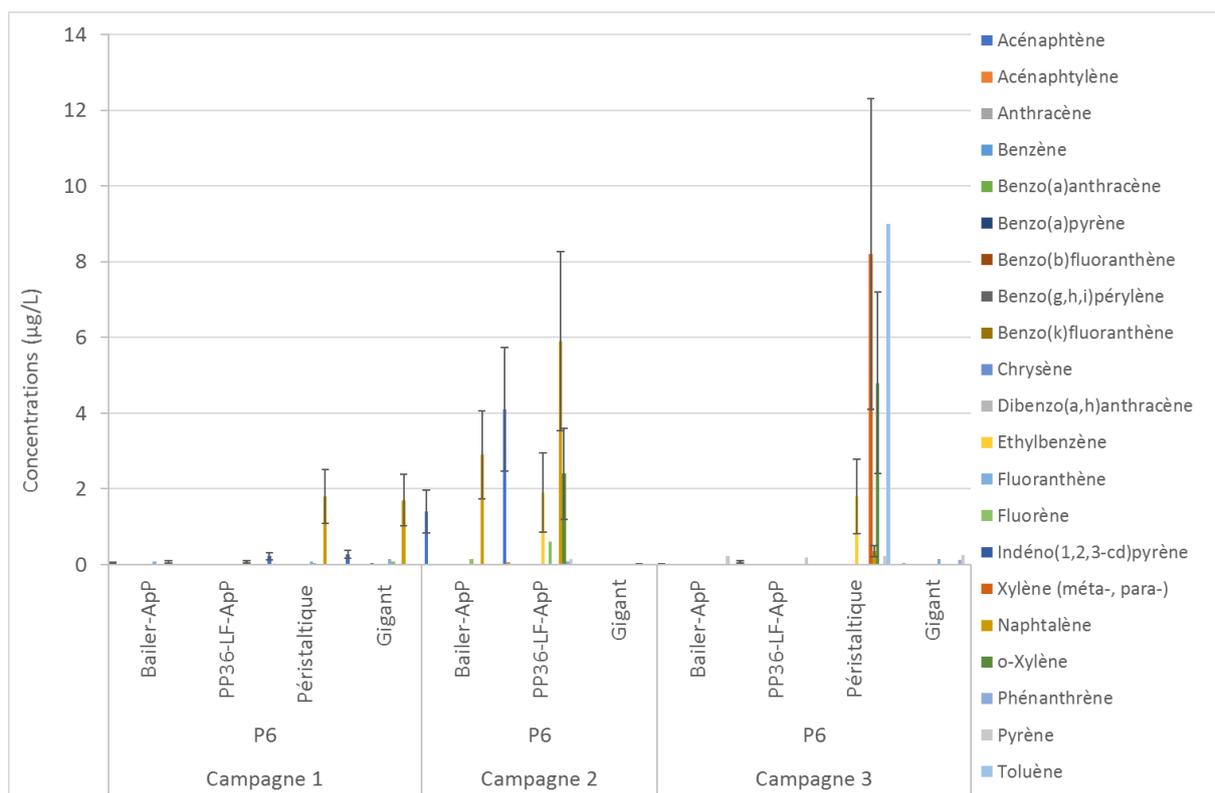


Figure 65 : Site 4 Influence de la profondeur, du dispositif – Concentrations en substances hydrocarbures identifiées (>LQ) sur 1 piézomètre (P6) pour 3 campagnes (Bailer, PP36-LF, Péristaltique, Gigant)

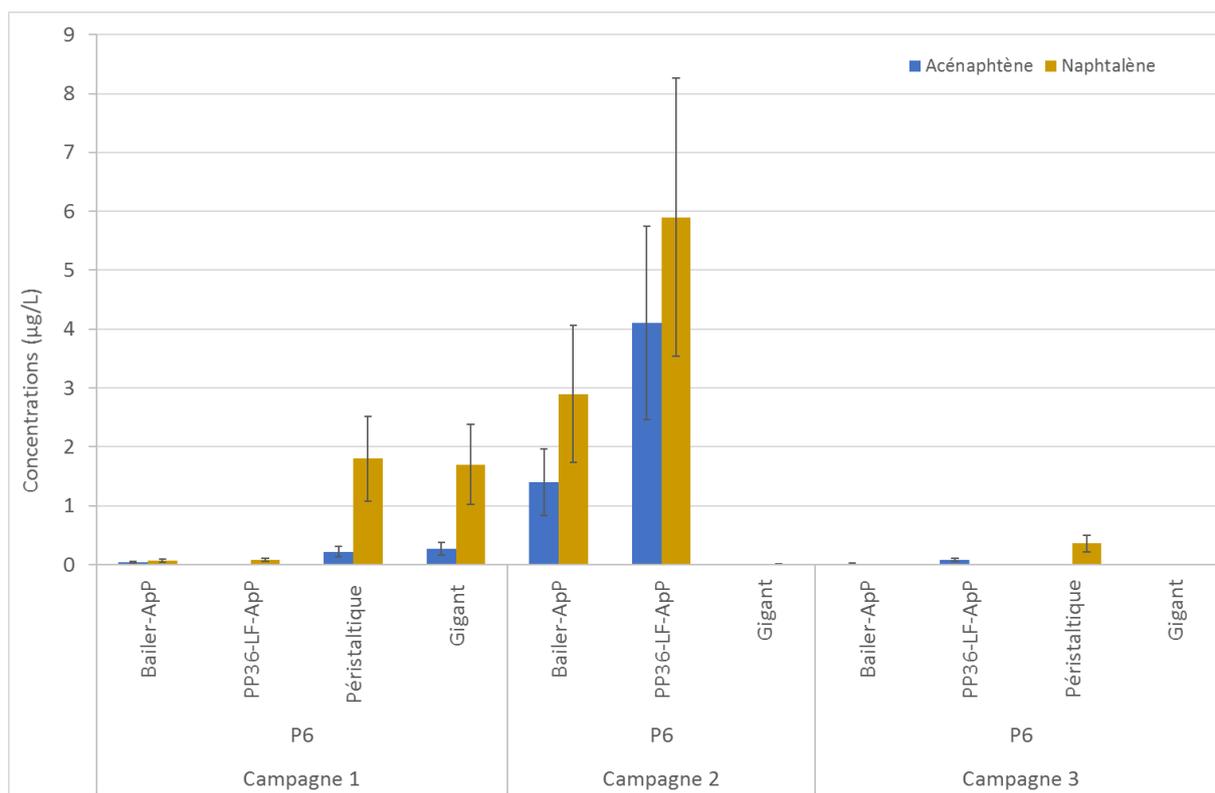


Figure 66 : Site 4 Influence de la profondeur, du dispositif – Concentrations en acénaphthène et naphtalène sur 1 piézomètre (P6) pour 3 campagnes (Bailer, PP36-LF, Péristaltique, Gigant)

En Figure 65 et Figure 66, le constat est le même en P6 mais pour des concentrations beaucoup plus faibles qu'en P5. L'amplitude des variations selon le dispositif employé est ici plus élevée. Au cours de la campagne 2 les variations sont importantes, notamment pour ce qui est de la concentration en naphtalène liée au bailer.

Comme en P5 et bien que les concentrations soient nettement inférieures, ces différences ne peuvent être expliquées, mais elles se retrouvent pour ce site à différentes campagnes.

Pour aller plus loin et valider le choix d'une surveillance dans la partie superficielle de la nappe, l'INERIS a également mis en œuvre des prélèvements multiniveaux. Compte-tenu de l'épaisseur de la nappe, les prélèvements étaient peu éloignés les uns des autres.

Les résultats acquis sur deux piézomètres sont donnés ci-après. A noter que sur ce site, deux campagnes de mesures des flux verticaux ont été conduites : aucun flux n'a été mis en évidence.

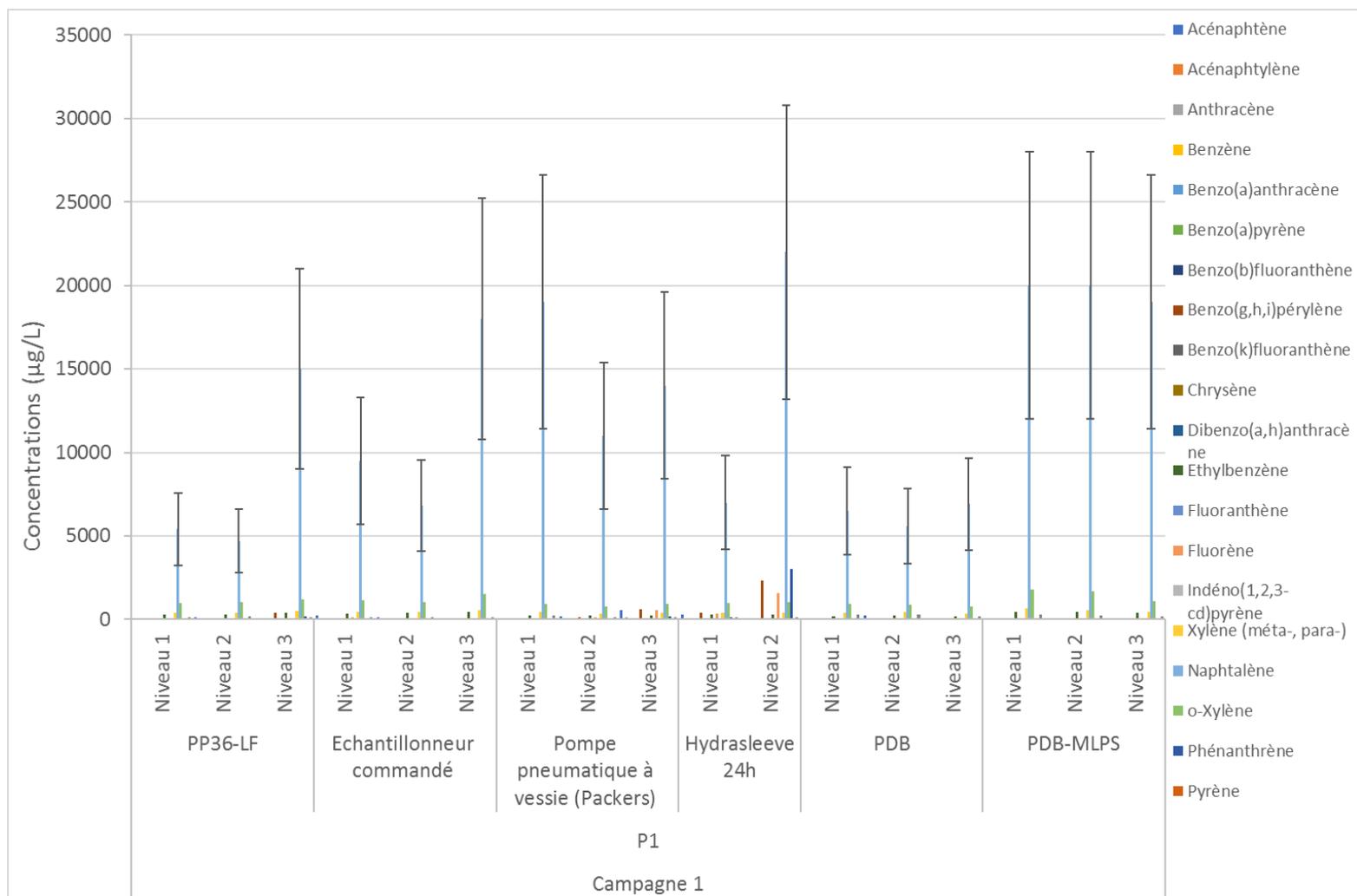


Figure 67 : Site 4 Influence de la profondeur, du dispositif – Concentrations en substances hydrocarbures identifiées (>LQ) sur 1 piézomètre (P1) pour une campagne avec prélèvements à 3 niveaux (6 dispositifs)

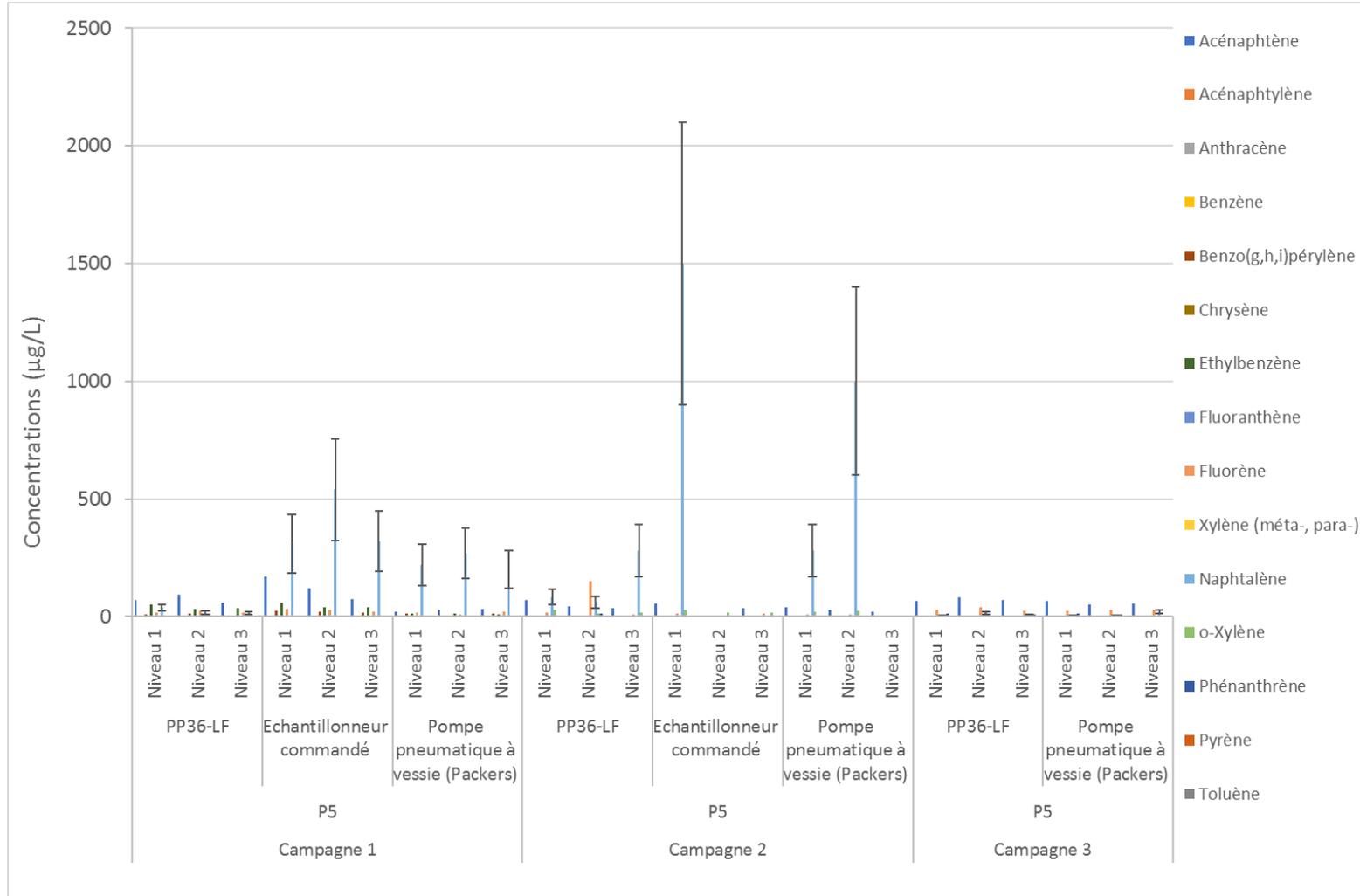


Figure 68 : Site 4 Influence de la profondeur, du dispositif – Concentrations en substances hydrocarbures identifiées (>LQ) sur 1 piézomètre (P5) pour 3 campagnes avec prélèvements à 3 niveaux (Bailer, PP36-LF, Péristaltique, Gigant)

Au regard des Figure 67 et Figure 68, le naphthalène est de nouveau la substance pour laquelle les concentrations sont les plus élevées, quel que soit le niveau.

Les résultats en P1 traduisent une pollution répartie de façon homogène sur la colonne d'eau au droit de ce point. Cet ouvrage est situé à proximité de la zone source. L'INERIS observe de nouveau quelques disparités selon le dispositif employé mais les variations restent dans l'ensemble dans la gamme d'incertitudes (mis à part le niveau 3 pour PP36-LF et échantillonneur commandé, le niveau 2 pour hydrasleeve). PDB et pompe à vessie donnent des résultats similaires aux 3 niveaux.

Les résultats en P5 sont plus contrastés et de nouveau c'est à la seconde campagne que ce constat est le plus marqué avec en particulier pour la pompe à vessie et l'échantillonneur commandé des valeurs en naphthalène fortement contrastées.

Comme indiqué, les variations observées ne peuvent être expliquées mais il convient de remarquer qu'il s'agit toutefois du seul site sur les 6 étudiés où de telles variations sont notées. Techniques de prélèvements et laboratoire sont les mêmes que sur les autres sites (sauf le laboratoire pour le site 4, cf. BIODÉPOL).

Bien que les substances concernées et en particulier les 16 HAP aient une densité supérieure à celle de l'eau ($d > 1$) en phase pure, et considérant la faible épaisseur de la nappe (d'où des niveaux séparés de 1 à 2 m), ces résultats illustrent l'absence de stratification du panache de pollution (dissous) en aval hydraulique de la zone source : quel que soit le niveau retenu, les concentrations à exploiter *in fine* varient peu ou restent dans la gamme d'incertitudes.

Ce site concerne une nappe alluviale impactée par une activité historique, les résultats présentés portent sur des substances hydrocarbures (les BTEX et le naphthalène de la famille des HAP). Des variations de concentrations au-delà de l'incertitude analytique sont observées à plusieurs reprises. C'est le cas, selon le dispositif employé, sur deux piézomètres pour un prélèvement mononiveau (partie superficielle de la nappe alluviale) mais également pour des prélèvements à différents niveaux (en l'absence de flux verticaux au regard des mesures effectuées aux cours de deux campagnes sur trois).

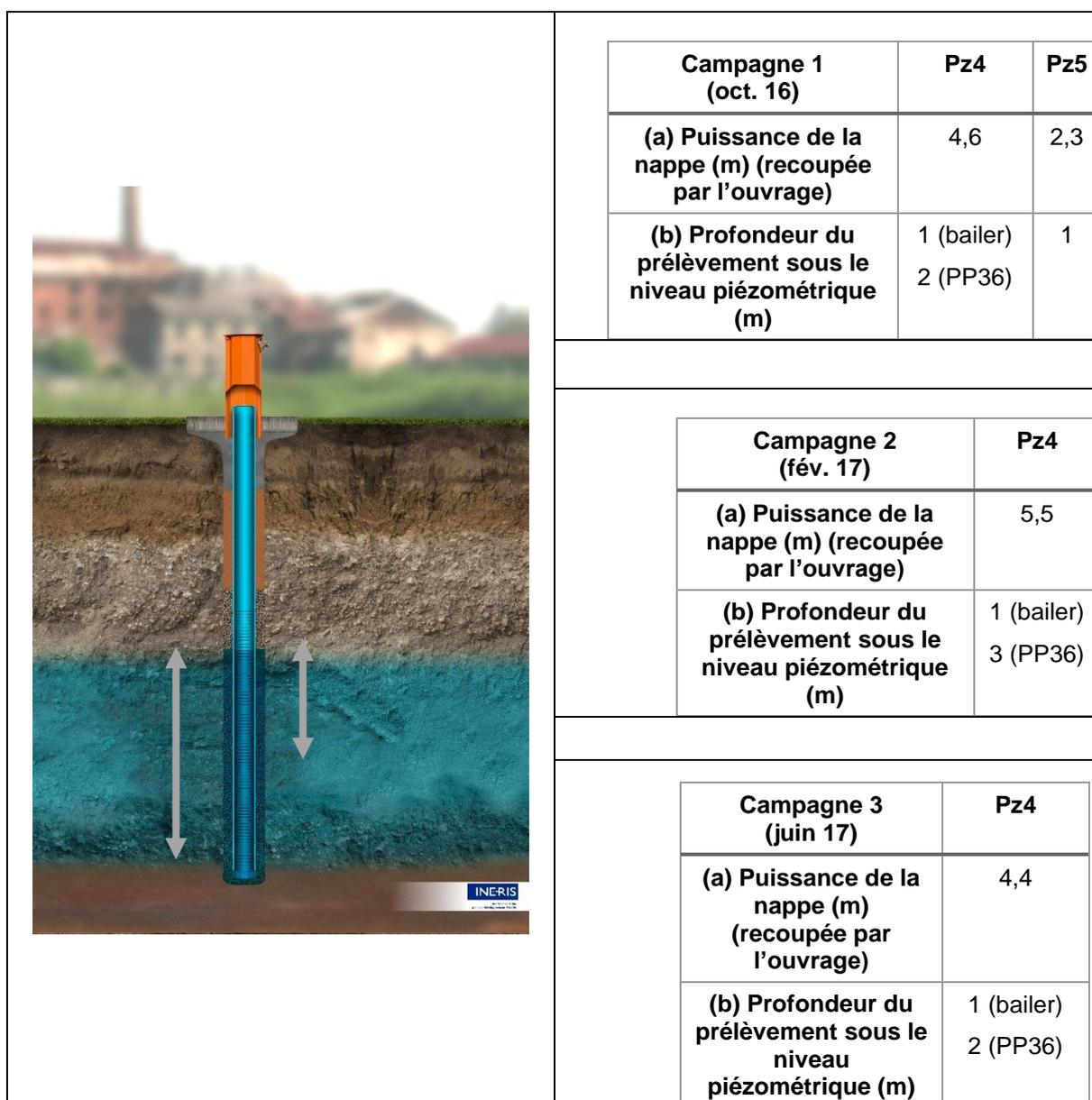
Ces variations ne peuvent être ici associées à des informations concernant la présence d'une phase, d'une émulsion ou de particules mais elles mettent en exergue la nécessité de disposer de résultats obtenus au cours de plusieurs campagnes et à partir de plusieurs ouvrages avant de pouvoir conclure quant à l'influence de la profondeur et d'autres facteurs sur les concentrations obtenues.

Site 5 - site minier en cessation d'activité

Protocole de prélèvement : utilisation d'un bailer puis de la pompe immergée PP36-LF (Low Flow) pour échantillonnage avant et après une purge. La purge a été réalisée à l'aide de la pompe PP36-LF, à la même profondeur que l'échantillonnage et pour un débit de l'ordre de 4 L/mn (critères d'arrêt : stabilisation des paramètres physico-chimiques et *a minima* 3 volume de puits).

Les résultats présentés ci-après pour les Eléments Traces Métalliques (ETM) concernent des échantillons non filtrés.

Ci-dessous sont reportées sur l'illustration d'un piézomètre, la puissance de la nappe (recoupée par l'ouvrage) et la profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique.



Résultats d'analyses : les concentrations présentées par la suite ont été déterminées avec une incertitude fournie par le laboratoire (EUROFINS), avec pour les plus cités dans le texte : As 0,45 ; Pb 0,2 ; Zn 0,25. Cette information est reportée sur les graphiques. Dans les tableaux, le chiffre « 0 » correspond à « <LQ » (Limite de Quantification, également fournie par le laboratoire).

Les Eléments Traces Métalliques (ETM) ont été recherchés sur ce site où l'eau souterraine circule au sein d'une nappe alluviale. Les prélèvements ont été effectués après purge, différemment selon l'ouvrage concerné, Pz4 et Pz5.

En Pz4, ils concernent la partie superficielle de la nappe alluviale à l'aide d'un bailer (à 1 m sous le niveau piézométrique) et de la pompe PP36-LF (à 2 voire 3 m sous le niveau piézométrique). En Pz5, les deux outils ont été placés au même niveau, (à 1 m sous le niveau piézométrique).

Les résultats portant sur différentes campagnes sont reportés ci-après. Ils concernent des échantillons non filtrés afin de pouvoir disposer de concentrations exploitables (>LQ, à définir selon l'objectif du prélèvement, cf. Partie 2).

Au cours de la première campagne, les deux ouvrages ont pu être utilisés avant la destruction du Pz5.

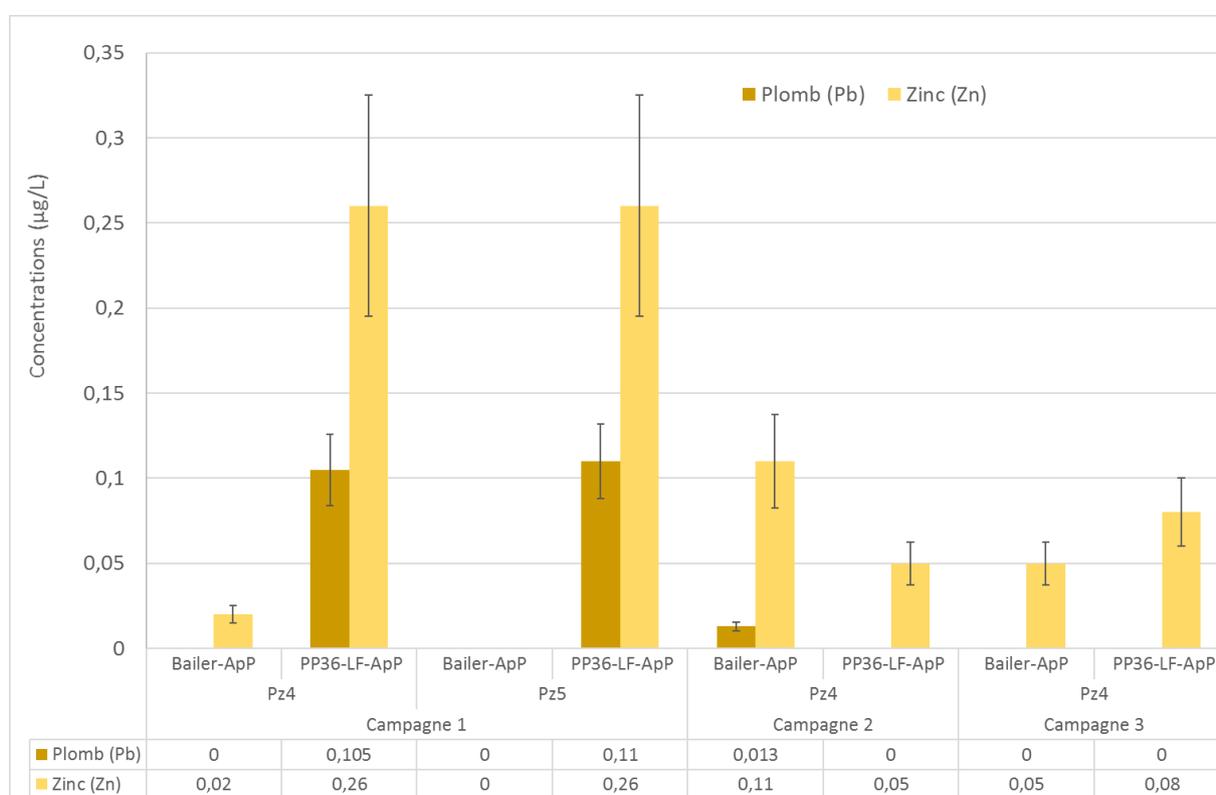


Figure 69 : Site 5 Influence de la profondeur, dispositif – Concentrations en Pb et Zc sur 2 piézomètres pour 3 campagne (PP36-LF)

Considérant une puissance de la nappe variant de 2,3 à 5.5 m selon l'ouvrage, des variations sont observées via la Figure 69, et notamment en Pz4 qui a été utilisé au cours de trois campagnes. Toutefois, les concentrations obtenues sont proches de la LQ, avec respectivement 0,005 µg/L et 0,02 µg/L pour le plomb et le zinc.

Concernant ce site, des diagraphies de la colonne d'eau réalisées au cours de la seconde et de la troisième campagne ont montré une turbidité pouvant atteindre de très fortes valeurs (>1000 NTU) et des évolutions de cette turbidité en fonction de la profondeur (cf. Figure 26 et Figure 27). Ces mesures mettent en évidence la présence de particules au sein du piézomètre Pz4 (même après une purge).

Les différences observées dans les concentrations en plomb et zinc sont à mettre en perspective avec la présence plus importante de particules à certains niveaux (cf. mesures de la turbidité : particules contenant des ETM du fait d'échanges cationiques).

Les données acquises sur ce site concernant les ETM sont ponctuelles (notamment pour le plomb). Toutefois, l'INERIS constate une variabilité des résultats selon le dispositif employé, en particulier au cours de la première et de la seconde campagne. Cette observation est liée à la présence de particules dont le nombre évolue en fonction de la profondeur selon les mesures effectuées avant et après purge.

Au regard de la différence observée en termes de concentrations en plomb et en zinc, un prélèvement au milieu de la colonne d'eau pourrait permettre de favoriser une approche sécuritaire ou conservatoire, adaptée à la présence de particules en suspension.

Site 6 - ICPE – ISDnD en activité

Protocole de prélèvement : utilisation d'un bailer puis de la pompe immergée PP36-LF (Low Flow) pour échantillonnage avant et après une purge. La purge a été réalisée à l'aide de la pompe PP36-LF, à la même profondeur que l'échantillonnage et pour un débit de l'ordre de 4 L/mn (critères d'arrêt : stabilisation des paramètres physico-chimiques et *a minima* 3 volume de puits).

Ci-dessous sont reportées sur l'illustration d'un piézomètre, la puissance de la nappe (recoupée par l'ouvrage) et la profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique.

	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Campagne 1 (avril 16)</th> <th>SP10</th> <th>SP11</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)</td> <td>6,3</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)</td> <td>1 (bailer) 3 (PP36)</td> <td>1 (bailer) 4,5 (PP36)</td> </tr> </tbody> </table>	Campagne 1 (avril 16)	SP10	SP11	(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)	6,3	9	(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)	1 (bailer) 3 (PP36)	1 (bailer) 4,5 (PP36)
	Campagne 1 (avril 16)	SP10	SP11							
	(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)	6,3	9							
(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)	1 (bailer) 3 (PP36)	1 (bailer) 4,5 (PP36)								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Campagne 2 (nov. 16)</th> <th>SP10</th> <th>SP11</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)</td> <td>7,2</td> <td>9,1</td> </tr> <tr> <td>(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)</td> <td>1 (bailer) 3,5 (PP36)</td> <td>1 (bailer) 6,5 (PP36)</td> </tr> </tbody> </table>	Campagne 2 (nov. 16)	SP10	SP11	(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)	7,2	9,1	(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)	1 (bailer) 3,5 (PP36)	1 (bailer) 6,5 (PP36)	
Campagne 2 (nov. 16)	SP10	SP11								
(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)	7,2	9,1								
(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)	1 (bailer) 3,5 (PP36)	1 (bailer) 6,5 (PP36)								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Campagne 3 (juin 17)</th> <th>SP10</th> <th>SP11</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)</td> <td>6,8</td> <td>9,5</td> </tr> <tr> <td>(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)</td> <td>1 (bailer) 3,4 (PP36)</td> <td>1 (bailer) 6 (PP36)</td> </tr> </tbody> </table>	Campagne 3 (juin 17)	SP10	SP11	(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)	6,8	9,5	(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)	1 (bailer) 3,4 (PP36)	1 (bailer) 6 (PP36)	
Campagne 3 (juin 17)	SP10	SP11								
(a) Puissance de la nappe (m) (recoupée par l'ouvrage)	6,8	9,5								
(b) Profondeur du prélèvement sous le niveau piézométrique (m)	1 (bailer) 3,4 (PP36)	1 (bailer) 6 (PP36)								

Résultats d'analyses : les concentrations présentées par la suite ont été déterminées avec une incertitude fournie par le laboratoire (EUROFINS), concernant les principales substances citées dans le texte il s'agit : calcium 0,3 ; sulfates 0,2. Cette information est reportée sur les graphiques.

Les Eléments Traces Métalliques (ETM) ont été recherchés lors des deux premières campagnes, mais très peu de résultats > LQ ont été obtenus. Le site a toutefois été conservé pour mener à bien une comparaison sur anions et cations, dont l'ion chlorure en particulier (en lien avec l'activité de stockage de déchets non dangereux).

Sur ce site, les prélèvements ont été effectués à deux niveaux à partir de deux outils, un bailer (au niveau supérieur de la nappe) puis la pompe PP36-LF (à un niveau moyen), après purge.

Il convient de souligner qu'une filtration de l'échantillon est réalisée au laboratoire (EUROFINS) pour l'analyse des anions (dont chlorures, sulfates) et que le flaconnage dédié aux cations contient de l'acide. Ainsi, il est préférable de s'intéresser exclusivement aux éléments cationiques dont l'échantillon n'est pas filtré par le laboratoire (en présence d'éventuelles particules).

Compte-tenu des résultats présentés de la Figure 70 à la Figure 73, il apparaît que pour les cations et en particulier le calcium (en bleu), cation pour lequel des concentrations élevées sont observées, les données acquises ne montrent pas de différence majeure selon l'outil et donc la profondeur (considérant l'incertitude analytique).

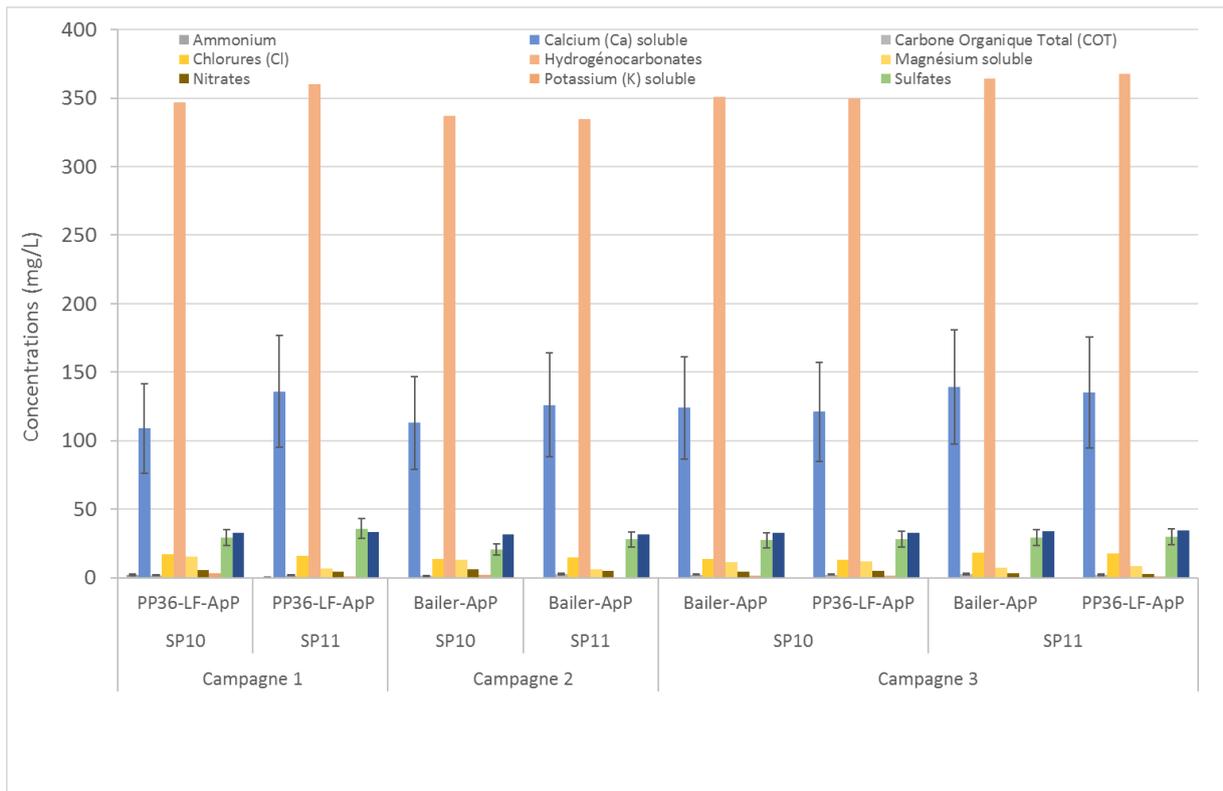


Figure 70 : Site 6 Influence de la profondeur, du dispositif – Concentrations en anions et cations majeurs sur 2 piézomètres pour 3 campagnes (Bailer et PP36-LF)

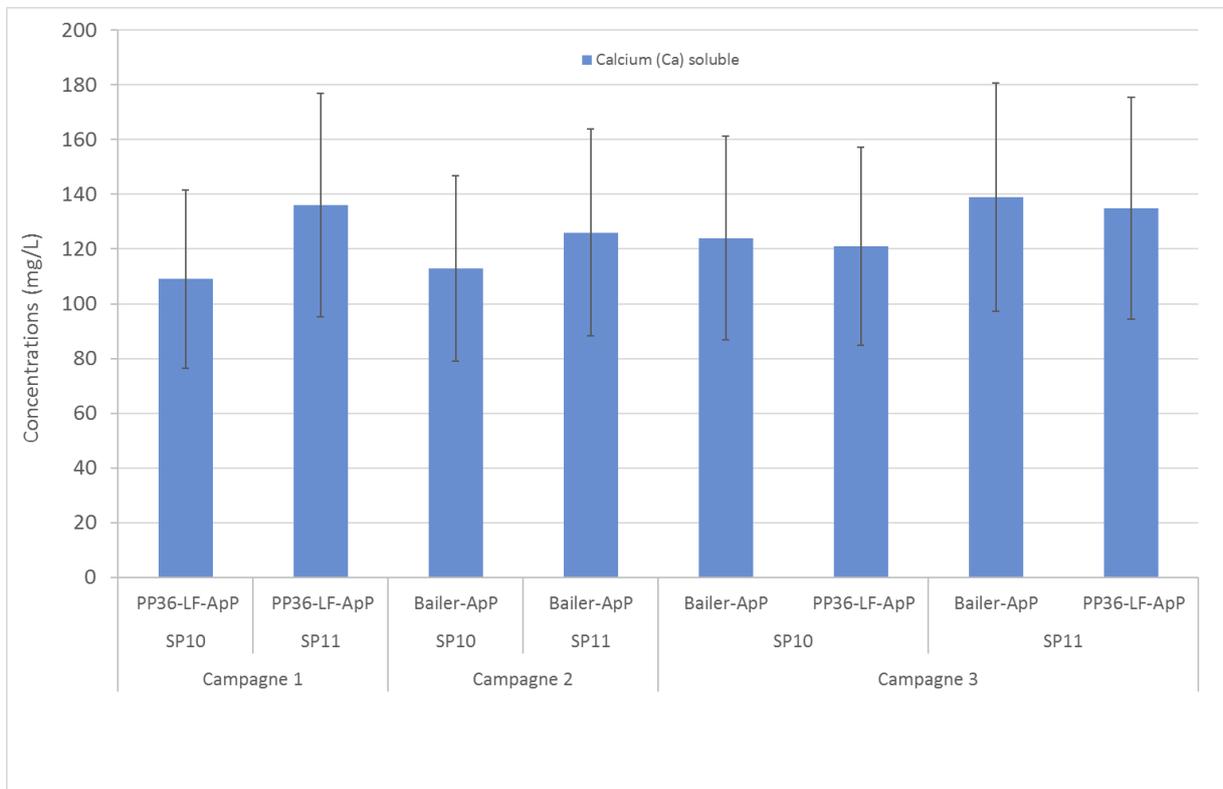


Figure 71 : Site 6 Influence de la profondeur, du dispositif – Concentrations en calcium sur 2 piézomètres pour 3 campagnes (Bailer et PP36-LF)

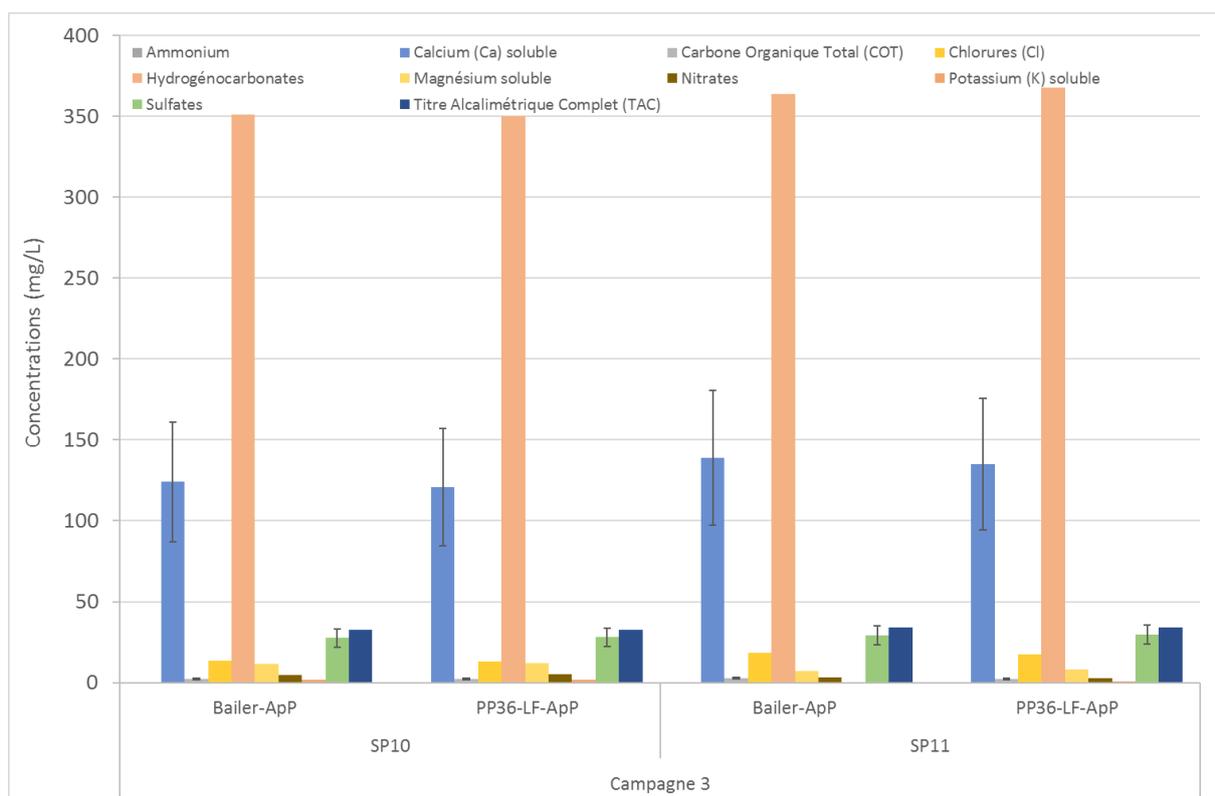


Figure 72 : Site 6 Influence de la profondeur, du dispositif – Concentrations en anions et cations majeurs sur 2 piézomètres pour une campagne (Bailer et PP36-LF)

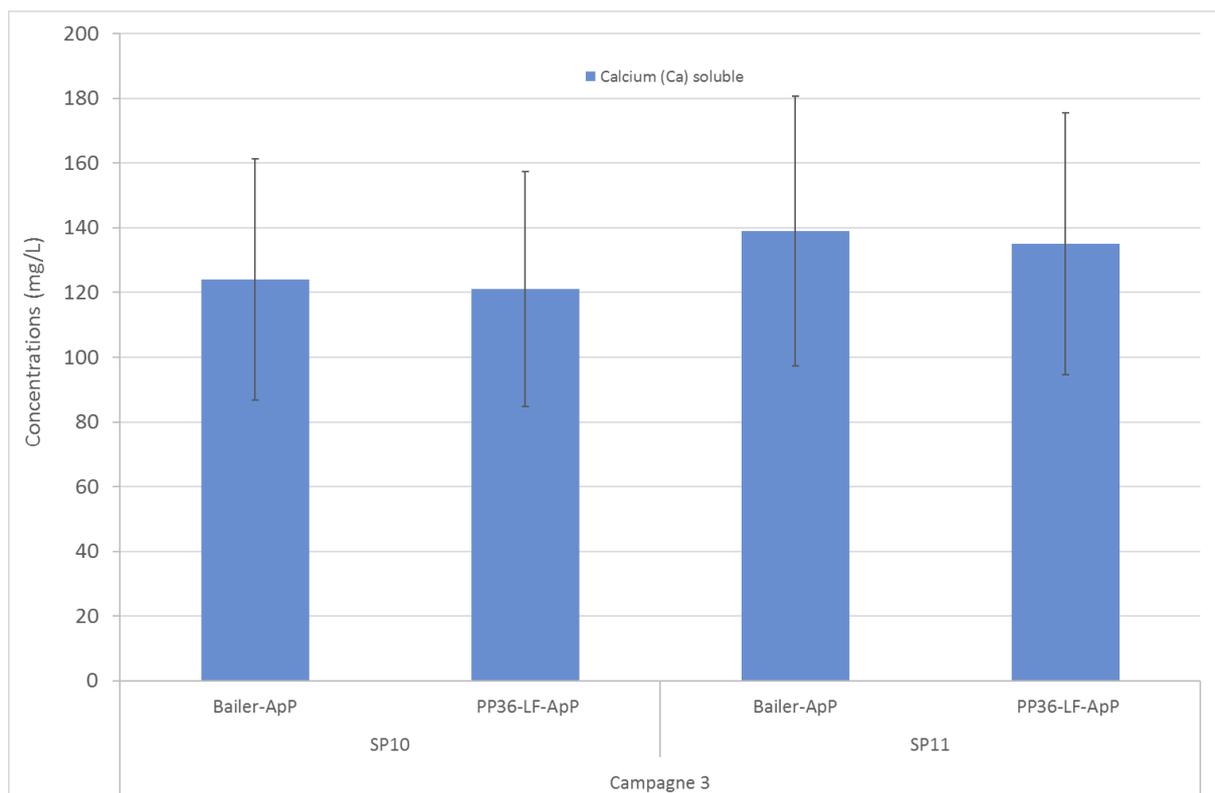


Figure 73 : Site 6 Influence de la profondeur, du dispositif – Concentrations en calcium sur 2 piézomètres pour une campagne (Bailer et PP36-LF)

Les résultats concernant une campagne menée sur un site implanté sur une zone en cours de karstification sont similaires pour différents dispositifs et à deux profondeurs (considérant l'incertitude analytique).

Ils montrent que le prélèvement effectué à l'aide d'un bailer s'avère adapté pour mener à bien une surveillance préventive sur ce site (en l'absence présumée de niveau plus producteur du fait de la présence de faille, fissure et/ou en l'absence d'homogénéisation des concentrations du fait de flux).

Cuve expérimentale

Protocole de prélèvement : pas de purge compte-tenu du matériau homogène et calibré constituant l'aquifère simulé (sable de Mios, Gironde) et des caractéristiques des piézomètres installés (en particulier le slot de la crépine).

Plusieurs pompes ont été employées. Outre le diamètre et la longueur de l'outil, le paramètre qui varie selon le dispositif employé est ici le débit de prélèvement :

- pompe Péristaltique (en surface), débit de prélèvement non modulable (de l'ordre de 0,4 L/mn) ;
- pompe pneumatique à Vessie, débit de prélèvement modulable (<1 L/mn) ;
- pompe PP36-LF, débit de prélèvement modulable (<1 L/mn) ;
- pompe Gigant, débit non modulable (de l'ordre de 8 L/mn).

Résultats d'analyses : les concentrations présentées par la suite ont été déterminées avec une incertitude fournie par le laboratoire (EUROFINS) : Benzène 0,5. Cette information est reportée sur les graphiques.

Quatre campagnes identiques ont été menées sur cette cuve dans le cadre de l'exercice de comparaison, la seule différence étant la concentration en benzène dans la source injectée. La première campagne a contribué à tester la cuve et notamment le système d'injection de benzène, la fréquence de prélèvement à considérer, etc.

Tous les prélèvements ont été réalisés à 15 cm sous le niveau piézométrique. La nappe a une puissance de l'ordre de 70 cm.

Les résultats présentés portent sur les campagnes et les ouvrages pour lesquelles des concentrations supérieures à la LQ ont été observées.

Les graphiques qui suivent en Figure 74 portent sur les résultats obtenus via des triplicats effectués en Pz3 (en partie superficielle de la nappe (en aval de la zone source et avec des concentrations >LQ pour toutes les campagnes). Ces illustrations présentent également la moyenne calculée à partir de ces triplicats (en orange).

Si ce n'est une fois pour le bailer (campagne 2) et une fois pour la pompe péristaltique (campagne 4) les résultats des triplicats sont similaires et cohérents.

La campagne 2 montre des résultats assez comparables au regard de l'incertitude analytique. Pour la campagne 4 et des concentrations plus élevées, des différences apparaissent, en particulier pour le bailer, avec lequel les concentrations les plus importantes sont observées sur les trois piézomètres. *A contrario*, la pompe Gigant conduit toujours à obtenir les valeurs les plus faibles.

Concernant la pompe Gigant, les faibles concentrations observées peuvent être associées aux difficultés rencontrées pour échantillonner la cuve depuis la surface. En effet, la pompe Gigant a un débit élevé lorsqu'elle est utilisée dans ces conditions.

Concernant le bailer, il convient de noter que dans le cas de la cuve, l'outil n'est pas descendu puis remonté (plein) sur plusieurs mètres comme sur un site réel.

La cuve expérimentale permet de simuler l'évolution d'un panache de benzène au sein d'un milieu plus homogène, mieux connu et contrôlé que le milieu naturel. Les résultats obtenus pour trois campagnes indiquent des variations selon le dispositif employé pour réaliser le prélèvement.

In fine, bien que l'on soit dans un milieu moins hétérogène, mieux maîtrisé qu'un site réel, l'influence des nombreuses incertitudes inhérentes à tout prélèvement conduit à obtenir des variations dans les concentrations obtenues de la part du laboratoire. Il convient d'en être conscient lors de l'interprétation.

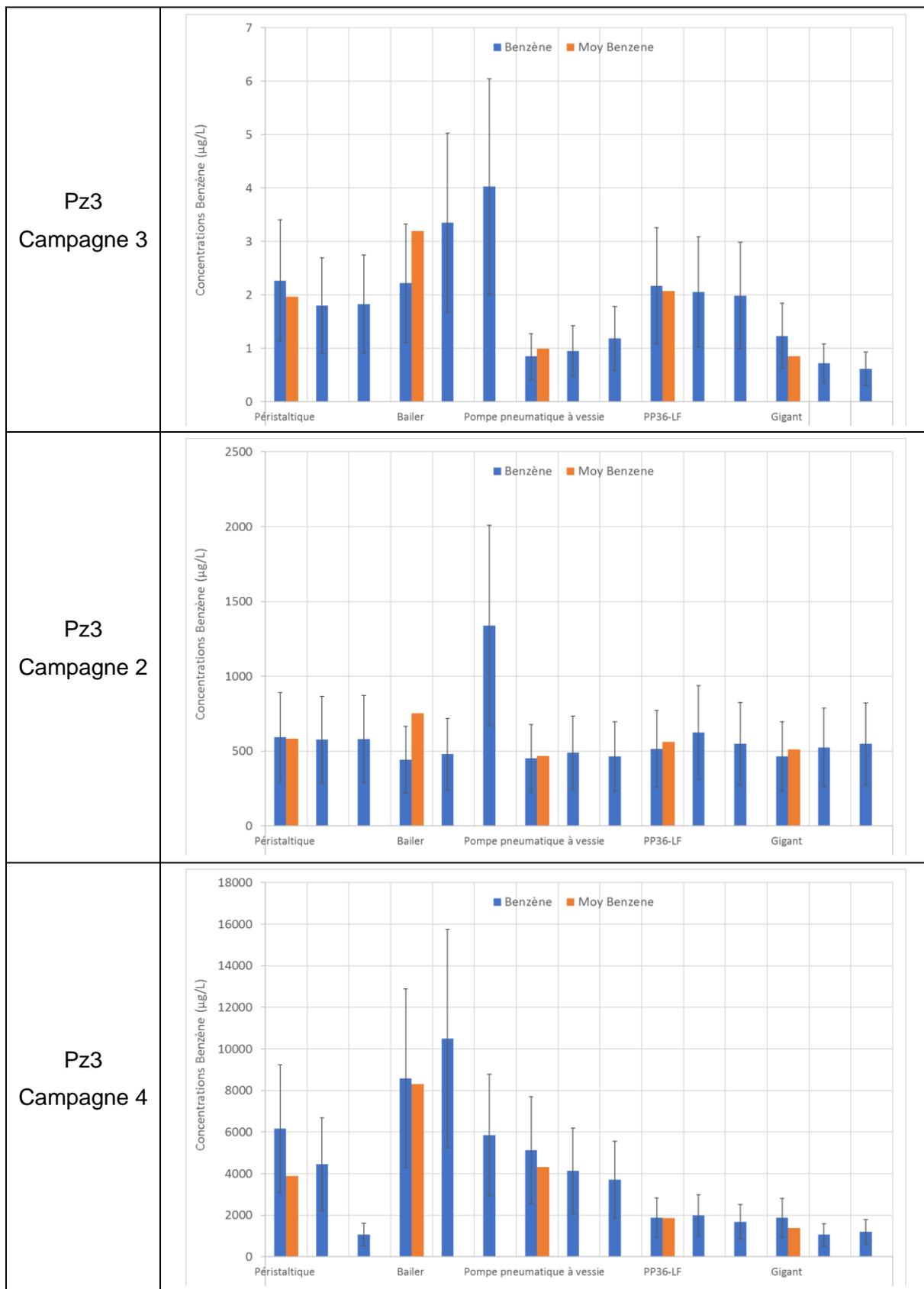


Figure 74 : Cuve exp. Influence de la profondeur, du dispositif – Concentrations en Benzène sur 1 piézomètre pour 3 campagnes (5 dispositifs)

Conclusion, points à faire ressortir :

A l'échelle de 6 sites et d'une cuve expérimentale, l'INERIS a réalisé au cours de plusieurs campagnes une comparaison entre les concentrations obtenues selon la profondeur et les dispositifs employés, considérant des substances classiquement recherchées dans le domaine des ICPE et des sites pollués.

Des variations significatives ont été établies pour :

- le Site 1 (COHV), ponctuellement sur un piézomètre proche de la zone source et en présence de phase pure voire d'émulsion, mais exclusivement dans le cas de prélèvements dans la partie supérieure de la nappe ;
- le Site 2 (BTEX, HAP - naphthalène), ponctuellement sur un piézomètre proche de la zone source, en présence de phase pure voire d'émulsion, et dans le cas de prélèvements dans la partie supérieure de la nappe ;
- le Site 4 (BTEX, HAP), sur les deux piézomètres étudiés et pour plusieurs substances (en particulier pour naphthalène et acénaphthène), qu'il s'agisse de prélèvements à un ou à plusieurs niveaux ;
- le Site 5 (ETM), sur les deux piézomètres étudiés, selon le dispositif employé et au final la profondeur associée (cf. bailer en haut et pompe immergée au milieu de la nappe) ;
- la cuve expérimentale (Benzène), où les résultats obtenus pour trois campagnes indiquent des variations selon le dispositif employé, pour des prélèvements dans la partie supérieure de la nappe.

L'INERIS observe que pour une grande majorité des cas traités (5 sur 7), les données acquises mettent en avant une variabilité des résultats, qui reste généralement ponctuelle (sur un piézomètre, pour une substance ou encore pour un outil de prélèvement). Malgré le recours à une cuve expérimentale, et donc à un milieu moins hétérogène, mieux maîtrisé qu'un site réel, des variations dans les concentrations obtenues sont constatées.

Les travaux menés sur cette question de profondeur et de dispositifs de prélèvement conduisent à mettre en avant l'importance de deux facteurs influençant les résultats. En effet, au regard de l'ensemble des données acquises, la variabilité parfois constatée est sans doute plus liée à ces facteurs qu'à l'outil et au protocole employés eux-mêmes :

- la présence d'une phase pure (huileuse) ou d'une émulsion (gouttelettes d'huiles, irisation) conduit à des résultats très différents (cf. sites 1, 2). Il peut

s'agir de la migration d'un panache de produits dits « plongeants » (DNAPL) ou « flottants » (LNAPL).

- la présence de particules, sur lesquelles des ETM peuvent être piégés, conduit également à observer des résultats différents (cf. site 5) (avec des échantillons non filtrés).

Ces travaux conduisent donc l'INERIS à formuler les remarques suivantes au regard des pratiques actuelles :

- rechercher une ou plusieurs substances plus denses que l'eau en phase pure et qui aura donc tendance à migrer en profondeur au fil du temps (ex : PCE, TCE) **ne doit pas conduire à réaliser quel que soit le contexte des prélèvements en partie basse de la nappe ou à plusieurs niveaux**. La démarche à suivre est notamment à adapter à l'ancienneté de la pollution ou encore à l'épaisseur de la zone insaturée puis saturée (cf. site 1) ;
- la présence en surface d'une phase flottante voire d'une irisation (dans le cas d'hydrocarbures) conduira à obtenir des concentrations majorées par rapport à la qualité intrinsèque de l'eau souterraine (cf. sites 1 et 2), il conviendra d'adapter le protocole de prélèvement (cf. purge), le piézomètre considéré, à l'objectif recherché (prélèvement de phase flottante ou prélèvement de phase dissoute). Une **recherche systématique de la présence de phase ou d'irisation** est recommandée ;
- la présence de particules conduira également à obtenir des concentrations majorées par rapport à la qualité intrinsèque de l'eau souterraine dans le cas des ETM et des HAP (cf. site 5 voire site 4). Il conviendra d'adapter le protocole de prélèvement (cf. purge et temps de repos pour sédimentation, filtration ou non de l'échantillon) à l'objectif recherché. Quoi qu'il en soit, **le prélèvement à proximité immédiate du fond de l'ouvrage n'est pas recommandé**. Une **mesure systématique de la turbidité est recommandée** (ponctuelle ou via diagraphie dans le meilleur des cas).

Références liées à cette partie :

ADEME (2014). « Mesure de la qualité des eaux souterraines à l'aide d'échantillonneurs passifs dans le contexte des sites pollués », Programme R&D PASSCITYCHLOR.

AFNOR (2017). NF X 31-615 « Qualité des sols - Méthodes de détection, de caractérisation et de surveillance des pollutions en nappe - Echantillonnage des eaux souterraines dans des forages de surveillance ».

BRGM (2009). « Maîtrise et Gestion des Impacts des polluants sur la qualité des Eaux Souterraines (ESO) ».

Elci A., Flach G.P., Molz F.J. (2003). « Detrimental effects of natural vertical head gradients on chemical and water level measurements in observation wells: identification and control ». Journal of Hydrology.

INERIS (2017). « Comparaison entre outils et protocoles d'échantillonnage des eaux souterraines sur le site atelier de la Crau – BIODÉPOL ».

ISO (2009). ISO 5667-11 « Qualité de l'eau - Échantillonnage - Partie 11 : lignes directrices pour l'échantillonnage des eaux souterraines ».

Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs du Québec - Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (2011). « Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales : cahier 3 – Échantillonnage des eaux souterraines ».

Ministère de la transition écologique et solidaire – DGPR (2018). « Surveillance de la qualité des eaux souterraines appliquée aux ICPE et sites pollués ».

6. CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Aujourd'hui, pour déterminer la qualité du milieu eau souterraine dans le domaine des ICPE et des sites pollués, différents outils existent sur le marché. Ils permettent de mettre en œuvre des protocoles variés.

Selon le cas, des recommandations peuvent promouvoir ou non certaines pratiques ou technologies (cf. documents méthodologiques et/ou normes). Cependant, des questions continuent à se poser au sein de la profession, comme par exemple, la purge doit-elle être réalisée sur tous les sites ? en fonction de l'outil et du protocole, quelle est l'influence de la perte de substance volatile considérant l'incertitude qui pèse par ailleurs sur les concentrations obtenues ?...

L'INERIS a donc entrepris de mener un exercice de comparaison sur la période 2014-2017 afin de disposer **d'éléments factuels** permettant de **clarifier l'influence de certains choix sur la représentativité des concentrations** (choix entre outils - actifs, passifs - et protocoles - prélèvement à un niveau ou à plusieurs niveaux, débit de purge et de prélèvement appliqués, etc. - les plus adaptés à la situation rencontrée).

La démarche suivie repose sur l'acquisition d'un jeu de données important et pour une gamme de concentrations étendue afin d'en extraire **des tendances ou tout au moins illustrer la variabilité des résultats** (considérant l'incertitude fournie par le laboratoire). L'INERIS a fait le choix d'une **démarche proportionnée et adaptée au regard des pratiques actuelles** des bureaux d'études, et s'est également associé à des bureaux d'études (ERG Environnement, ECOGEOSAFE) et au laboratoire EUROFINs pour garantir l'opérationnalité et le transfert des connaissances acquises.

Quatre questions ont été particulièrement étudiées :

- l'influence de la purge sur la représentativité des résultats ?
- l'influence de la filtration et de la décantation sur la représentativité des résultats ?
- l'influence de la volatilisation sur la représentativité des résultats ?
- l'influence de la profondeur, du dispositif, sur la représentativité des résultats ?

L'exploitation des résultats a quant à elle reposé sur deux approches :

- une analyse par lecture graphique, en intégrant les incertitudes fournies par le laboratoire d'analyses ;
- une approche statistique, en présence d'un nombre suffisant de données (cf. influence de la purge).

Des conclusions spécifiques à chacune des 4 questions traitées sont formulées à l'issue de chacune des 4 parties composant ce document et synthétisées ci-après.

Principales conclusions quant à l'influence de la purge sur la représentativité des résultats

Basé sur 6 sites, avec pollutions aux hydrocarbures (BTEX, COHV et HAP) et ETM, considérant plusieurs campagnes

Prélèvements avant et après une purge

- la présence d'une phase pure ou d'une émulsion (huile) ou encore de particules influence les résultats
- en l'absence de phase huileuse ou de particules, le renouvellement de l'eau dans l'ouvrage s'avère suffisant dans de nombreux cas et purger l'ouvrage n'a pas d'effet notable sur les concentrations obtenues

L'INERIS propose de retenir une démarche proportionnée afin de juger de la pertinence de mener une purge, spécifique à chaque site, comprenant une comparaison :

- des résultats obtenus selon différents protocoles sur *a minima* 3 piézomètres, avec purge et sans purge, notamment en réalisant une purge à faible débit (< 1L/mn, soit de l'ordre de 0,5 L/mn)
- pour une durée *a minima* de deux cycles hydrologiques (2 régimes de hautes eaux et 2 basses eaux)

Une mesure de la turbidité et une recherche de la présence de phase ou d'irisation est recommandée pour faciliter l'interprétation des résultats

Le protocole sans purge, établi suite à cette démarche spécifique au site étudié devra être validé dans le temps par une comparaison menée de nouveau dans le cadre du bilan (quadriennal) sur une à deux campagnes selon la variabilité observée entre deux campagnes

Tableau 9 : Synthèse quant à l'influence de la purge sur la représentativité des résultats

Principales conclusions quant à l'influence de la filtration et de la décantation sur la représentativité des résultats

Basé sur 2 sites, avec pollutions aux hydrocarbures (HAP) et ETM, considérant plusieurs campagnes
Prélèvements avec ou sans filtration, décantation

- les résultats obtenus illustrent l'influence de filtrer et/ou de décanter l'échantillon sur la concentration obtenue en HAP et en ETM
- la présence de particules influence les résultats (cf. sorption des HAP, échanges cationiques des ETM)

L'INERIS rappelle que le demandeur doit se rapprocher du laboratoire afin de s'entendre sur la préparation des échantillons (sur site et/ou au laboratoire), en fonction de l'objectif de l'étude menée
Une mesure de la turbidité est recommandée pour faciliter l'interprétation des résultats

Tableau 10 : Synthèse quant à l'influence de la filtration et de la décantation sur la représentativité des résultats

Principales conclusions quant à l'influence de la volatilisation sur la représentativité des résultats

Basé sur 4 sites, une cuve expérimentale, avec pollutions aux BTEX, COHV et le naphtalène (semi-volatile, HAP), considérant plusieurs campagnes
Prélèvements selon différents dispositifs dont certains recommandés pour limiter la volatilisation

- aux deux échelles (sites, cuve), les résultats obtenus montrent des variations mais elles restent dans l'ensemble dans la gamme d'incertitudes fournie par le laboratoire
- les données acquises ne permettent pas de recommander l'acquisition et l'utilisation d'un matériel particulier parmi ceux testés ici pour limiter l'éventuelle perte de substance volatile

L'INERIS rappelle les règles de bon sens conduisant « en théorie » à limiter la volatilisation (cf. AFNOR NF X 31-615) :

- pour des pompes, les débits doivent être limités pour la purge et le prélèvement (utiliser le même dispositif)
- pour un outil immergé, la descente d'une pompe immergée, d'un bailer, etc. doit s'effectuer le plus lentement possible. La remontée d'un outil comme le bailer doit également s'effectuer le plus lentement possible
- remplir le flacon fourni par le laboratoire lentement et à ras bord
- ne pas filtrer l'échantillon

Tableau 11 : Synthèse quant à l'influence de la volatilisation sur la représentativité des résultats

Principales conclusions quant à l'influence de la profondeur, du dispositif, sur la représentativité des résultats

Basé sur 6 sites, une cuve expérimentale, avec pollutions aux hydrocarbures (BTEX, COHV et HAP) et ETM, considérant plusieurs campagnes

Prélèvements selon différents dispositifs à un niveau ou plusieurs niveaux de la nappe

- la présence d'une phase pure ou d'une émulsion (huile) ou encore de particules influence les résultats
- aux deux échelles (sites, cuve), les données acquises mettent en avant une variabilité des résultats, qui reste généralement ponctuelle
- les données acquises ne permettent pas de recommander l'acquisition et l'utilisation d'un matériel particulier parmi ceux testés ici pour mener à bien un prélèvement à plusieurs niveaux (cf. existence potentielle de flux verticaux au sein du tubage et du massif filtrant compte-tenu des caractéristiques des piézomètres utilisés dans le cadre de cet exercice de comparaison, « piézomètre complet »)

L'INERIS souligne que :

- la recherche d'une pollution en phase pure, plus dense que l'eau (DNAPL), ne doit pas conduire à réaliser quel que soit le contexte des prélèvements en partie basse de la nappe ou à plusieurs niveaux. La démarche doit rester opérationnelle et rationnelle, et tenir compte notamment de l'ancienneté de la pollution ou encore de l'épaisseur de la zone insaturée puis saturée (ou nappe)
- la présence d'une phase flottante voire d'une irisation, moins dense que l'eau (LNAPL), conduira à obtenir des concentrations majorées par rapport à la qualité intrinsèque de l'eau souterraine, il conviendra d'adapter le protocole de prélèvement (cf. purge) ou le piézomètre considéré, à l'objectif recherché (prélèvement de phase flottante ou prélèvement de phase dissoute). Une recherche systématique de la présence de phase ou d'irisation est recommandée
- la présence de particules conduira à obtenir des concentrations majorées par rapport à la qualité intrinsèque de l'eau souterraine dans le cas des ETM et des HAP. Il conviendra d'adapter le protocole de prélèvement (cf. purge, temps de repos pour sédimentation, filtration ou non de l'échantillon) à l'objectif recherché. Quoi qu'il en soit le prélèvement à proximité immédiate du fond de l'ouvrage n'est pas recommandé. Une mesure systématique de la turbidité est recommandée

Tableau 12 : Synthèse quant à l'influence de la profondeur, du dispositif, sur la représentativité des résultats

Cet exercice de comparaison avait pour ambition de compléter l'existant en diffusant auprès des acteurs concernés des résultats acquis de manière a priori reproductible sur plusieurs sites au cours de plusieurs campagnes et à partir de plusieurs ouvrages.

De nombreuses incertitudes liées aux multiples étapes associées à un prélèvement (sur le terrain, au cours du transport ou encore lors de l'analyse) pouvant conduire à une variabilité des résultats, disposer d'un jeu de données important devait permettre de mettre en exergue certaines tendances.

Ce document permet de faire **un point sur l'état de l'art**, mais aussi **d'illustrer la variabilité** qui peut exister entre deux ouvrages, deux campagnes, voire suite à l'utilisation de dispositifs de prélèvements différents. Ces résultats conduisent à **mettre en avant des tendances** et sont l'occasion de formuler, ou de rappeler, des recommandations qui ne sont pas toujours mises en pratique sur le terrain.

Ce travail permet aussi de rappeler que, tout comme les étapes de prélèvement et de transport, l'étape d'analyse peut également induire des résultats erronés, en particulier suite à des contaminations croisées, ou des difficultés d'interprétation des chromatogrammes.

Certains enseignements sont spécifiques au site étudié (influence de la purge par exemple), d'autres sont d'ordre plus général (influence de la volatilisation par exemple).

En conclusion, l'une des questions posées portait sur le prélèvement à différents niveaux (intégrée à la question de la profondeur). Bien que cette pratique soit amenée à se développer à l'avenir (cf. recommandations de la norme AFNOR NF X 31-615 actualisée en 2017, guide DGPR de 2018), l'INERIS n'est pas en mesure à ce jour de recommander un outil et un protocole à employer sur les sites disposant d'ouvrages « classiques » ou « complets », c'est à dire avec une crépine sur la majeure partie du tubage immergé. En effet, le dispositif, mais également le piézomètre en lui-même, jouent un rôle dans la représentativité de l'échantillon prélevé à un niveau donné. Les travaux menés se poursuivront en ce sens à l'avenir : **sans aller jusqu'à la réalisation systématique de piézomètres en flûte de pan, quel outil et protocole employer dans le cadre d'un prélèvement à plusieurs niveaux (à partir d'un piézomètre complet) ?**

Suite à la rédaction de ce document, l'INERIS mettra l'accent sur la **diffusion vers les opérateurs de terrain des informations acquises**, au travers de supports adaptés (fiche de synthèse avec illustrations, animations, etc.).

7. LISTE DES ANNEXES

Repère	Désignation	Nb/Format pages
1	Principales sources bibliographiques fournissant des recommandations sur le prélèvement d'eau souterraine et le choix des outils et protocoles adaptés à la situation	1 A4
2	Mode opératoire campagne sur sites pollués	2 A4
3	Mode opératoire essai en cuve expérimentale	3 A4
4	Approche statistique (influence de la purge)	7 A4

ANNEXE 1

Principales sources bibliographiques fournissant des recommandations sur le prélèvement d'eau souterraine et le choix des outils et protocoles adaptés à la situation

ADEME (2005). « Représentativité des échantillons d'eau prélevés en forages de contrôle ».

ADEME (2006). « Caractérisation dans les aquifères d'une zone source constituée d'organo-chlorés aliphatiques », Programme R&D MACAOH.

ADEME (2014). « Mesure de la qualité des eaux souterraines à l'aide d'échantillonneurs passifs dans le contexte des sites pollués », Programme R&D PASSCITYCHLOR.

AFNOR (2009). FD T90-523-3 « Qualité de l'eau - Guide de prélèvement pour le suivi de la qualité des eaux dans l'environnement - Partie 3 : prélèvement d'eau souterraine ».

AFNOR (2017). NF X 31-615 « Qualité des sols - Méthodes de détection, de caractérisation et de surveillance des pollutions en nappe - Echantillonnage des eaux souterraines dans des forages de surveillance ».

BRGM (2009). « Maîtrise et Gestion des Impacts des polluants sur la qualité des Eaux Souterraines (ESO) ».

Environnement Agency U.K. (2014). LFTGN 02 « Guidance on monitoring of landfill leachate, groundwater and surface water ».

Environmental Protection Agency U.S. (2002). « Ground-Water Sampling Guidelines for Superfund and RCRA Project Managers ».

Environmental Protection Agency U.S. (2013). « Groundwater Sampling ».

INERIS (2014). DRC-13-136138-13889A « Résultats de tests en laboratoire concernant le prélèvement de substances volatiles dans les eaux souterraines ».

INERIS (2017). « Comparaison entre outils et protocoles d'échantillonnage des eaux souterraines sur le site atelier de la Crau – BIODÉPOL ».

ISO (2009). ISO 5667-11 « Qualité de l'eau - Échantillonnage - Partie 11 : lignes directrices pour l'échantillonnage des eaux souterraines ».

Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs du Québec - Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (2011). « Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales : cahier 3 – Échantillonnage des eaux souterraines ».

ANNEXE 2
Mode opératoire campagne sur sites pollués

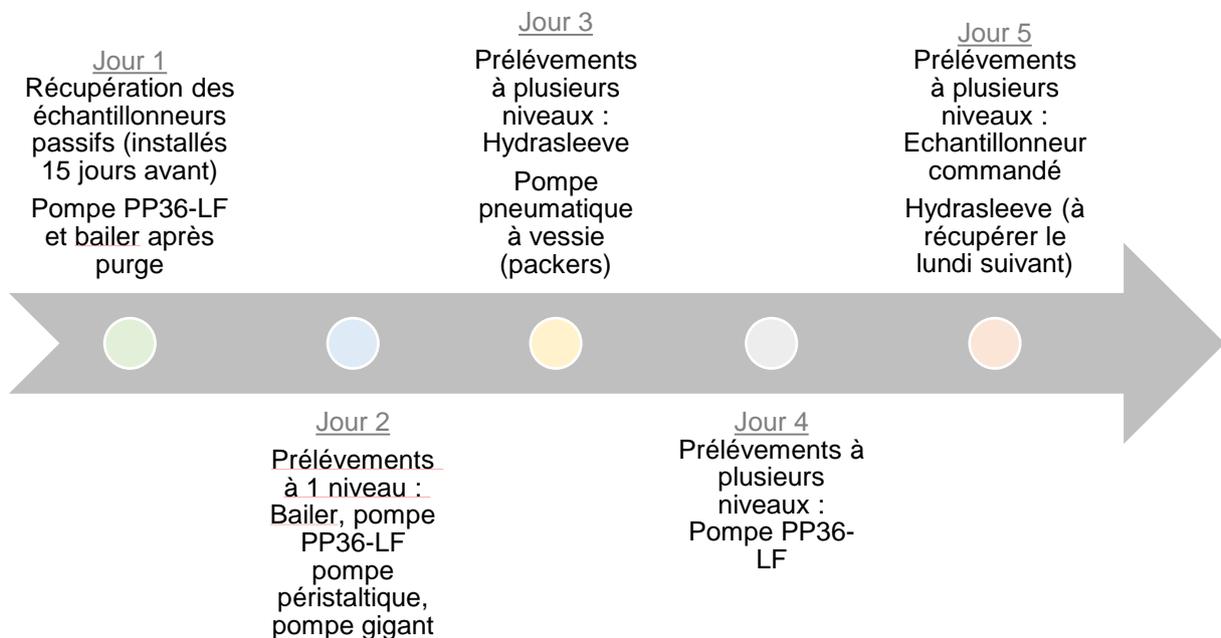
En fonction du site, du retour d'expérience et de l'évolution du réseau (abandon d'ouvrage notamment), les campagnes ont pu être modifiées au fil du temps.

Par exemple, dans le cadre de l'étude de l'influence de la purge, les prélèvements avant purge n'ont été réalisés qu'à la suite des premières campagnes du projet BIODéPOL (auparavant, prélèvements après purge et après un temps de repos de 24h).

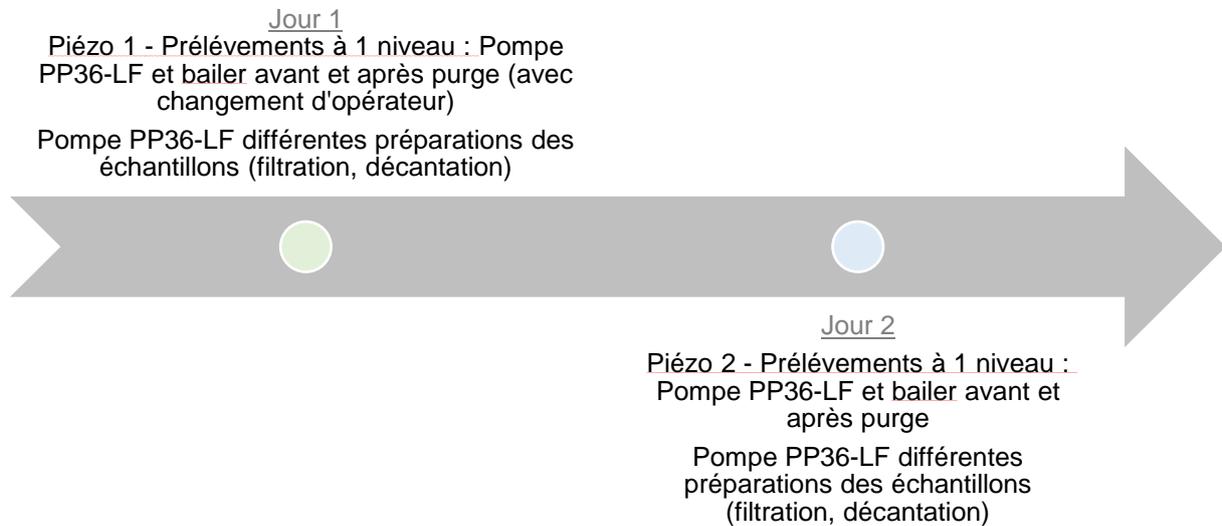
Par ailleurs, sur l'ancien site minier, deux ouvrages ont été rendus inaccessibles en cours d'exercice (abandon pour l'un et vandalisme pour l'autre).

Pour illustrer le mode opératoire suivi, deux cas sont repris ci-dessous :

- une campagne complète, dont 5 jours présentés ici (cf. site BIODéPOL) avec utilisation d'outils passifs et actifs sur plusieurs piézomètres.



- une campagne réduite, sur 2 jours, avec utilisation d'outils actifs sur 2 piézomètres.

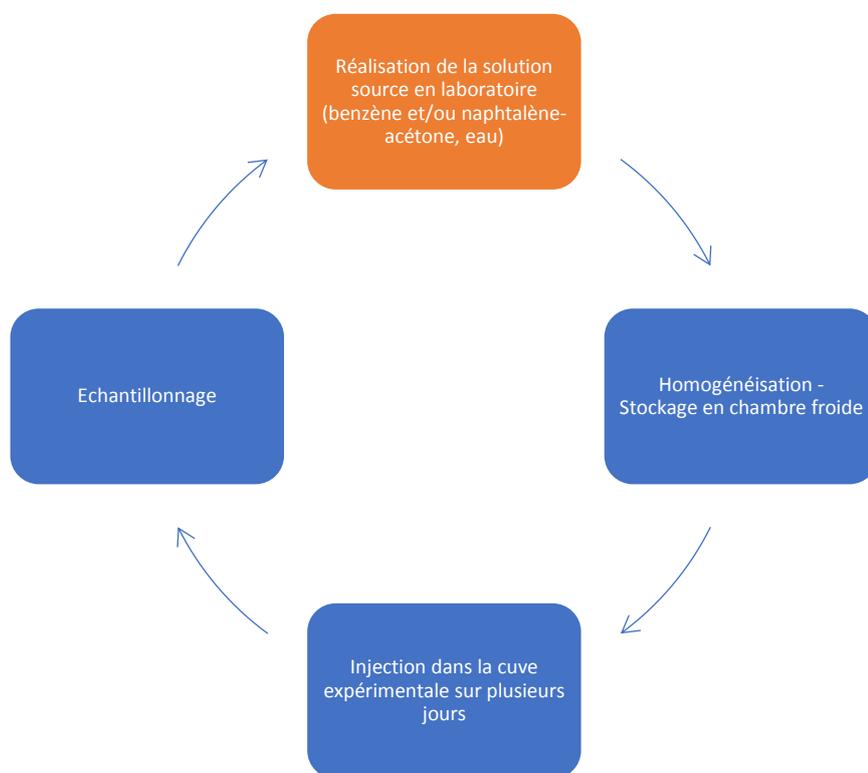


A noter que des mesures initiales dont des diagraphies voire des mesures de flux ont été réalisées, notamment lors de la première campagne, pour préciser le plan d'échantillonnage.

Flexibles ou tuyaux ont été changés entre piézomètres et d'un jour à l'autre, les outils réemployés ont également été rincés pour éviter toute contamination croisée. Enfin, des blancs de matériels ainsi que des blancs de transport ont été effectués au cours des campagnes.

ANNEXE 3
Mode opératoire essai en cuve expérimentale

De la réalisation de la solution mère à l'échantillonnage, le mode opératoire suivi au cours des essais menés est schématisé ci-après.



Mode opératoire reproductible (début de chaque essai en orange)

- Réalisation de la source

Le mélange benzène/naphthalène-acétone/eau a été effectué avant chaque nouvel essai en utilisant deux bombonnes de 20 L dans lesquelles ces deux substances ont été mélangées à de l'eau du réseau d'eau potable.

Le naphthalène n'a été employé que pour la première série d'essais en 2015, le benzène a été étudié dans le cadre de tous les essais menés à cette échelle considérant en particulier la possibilité d'étudier la variabilité des résultats obtenus en termes de concentrations avec une substance volatile.

Le dopage des solutions d'injection a été réalisé :

- dans le cas du naphthalène : via la préparation d'une solution mère à partir de naphthalène en poudre dissous dans de l'acétone extra pure ;
- dans le cas du benzène : via la préparation d'une solution mère à partir d'une solution de benzène pure et d'un prélèvement à la micropipette.

- Homogénéisation - Stockage en chambre froide

Les bombonnes ont été recouvertes de papier en aluminium afin d'éviter la photocatalyse des composés puis placées en chambre froide (- 4°C). Pour s'assurer

de la qualité des dopages, 3 prélèvements spécifiques ont été réalisés au cours de l'essai (début/milieu/fin) à la sortie du dispositif d'injection.



Solution d'injection homogénéisée sous hôte aspirante

- Injection dans la nappe sur plusieurs jours

L'injection de la source de pollution a été faite au niveau du piézomètre S (source), à une profondeur de l'ordre de 15 cm sous le niveau piézométrique et entre deux joints en PTFE distants de 20 cm.



Dispositif d'injection constitué d'un flexible accroché à une tige métallique et de deux joints étanches permettant de discrétiser le niveau d'injection

Une pompe péristaltique a permis d'appliquer un débit de l'ordre de 200 mL/h en continu.

- Echantillonnage

Des prélèvements ont été réalisés à une profondeur équivalente à celle d'injection, au sein de 3 piézomètres situés en aval hydraulique (Pz3, Pz5 et Pz8 de l'amont vers l'aval du système). Les dispositifs testés étaient :

- bailer (ou préleveur à usage unique à simple obturation) ;
- pompe immergée PP36 avec système « low flow » (PP36-LF) ;
- pompe péristaltique ;
- pompe Gigant ;
- pompe pneumatique à vessie.

L'ordre de passage des outils était le suivant : pompe péristaltique, bailer, pompe pneumatique à vessie, PP36-LF, Gigant – compte tenu en particulier des débits de pompage associés.

Entre chaque prélèvement, les outils ont été nettoyés afin de limiter le risque de contamination croisée (utilisation de deux bacs contenant de l'eau savonneuse puis de l'eau miniQ).

Les échantillons conditionnés, stockés (4°C) ont été envoyés dans les 24h au laboratoire EUROFINS.

Des blancs et prélèvements de contrôles ont été effectués au cours des différents essais menés (exemple : contrôle de l'absence de benzène en amont hydraulique de la zone source).

Flexibles ou tuyaux ont été changés entre piézomètres et d'un jour à l'autre, les outils réemployés ont également été rincés pour éviter toute contamination croisée. Enfin, des blancs ont été réalisés.

ANNEXE 4
Approche statistique (influence de la purge)

Site 1

Bailer et PP36-LF		
Polluant	Pvalue	Significativité
cis 1,2-Dichloroéthylène	0,264	FALSE
Tetrachloroéthylène	0,279	FALSE
Trichloroéthylène	0,224	FALSE
Chloroforme	0,126	FALSE
Bailer		
Polluant	Pvalue	Significativité
cis 1,2-Dichloroéthylène	0,362	FALSE
Tetrachloroéthylène	0,327	FALSE
Trichloroéthylène	0,297	FALSE
Chloroforme	0,219	FALSE
Toutes substances	0,343	FALSE
PP36-LF		
Polluant	Pvalue	Significativité
cis 1,2-Dichloroéthylène	0,568	FALSE
Tétrachloroéthylène	0,683	FALSE
Trichloroéthylène	0,617	FALSE
Chloroforme	0,363	FALSE
Toutes substances	0,686	FALSE

Site 1 Influence de la purge – Test de Student sur 3 piézomètres et pour 2 campagnes

Les résultats reportés ci-dessus montrent que les concentrations sont similaires avant et après purge pour les quatre substances étudiées et ceci quel que soit l'outil utilisé au cours des deux campagnes menées sur les ouvrages Pz1, Pz5 et Pz6.

Pour aller plus loin, en effectuant une ANOVA et en prenant en compte un facteur « outil » et « ouvrage » avec interaction « outils/ouvrages », des différences significatives apparaissent pour les substances tétrachloroéthylène et trichloroéthylène.

Bailer						
Polluant	Pval_Outils	Pval_Ouvrages	Pval_Int	Significativité Outils	Significativité Ouvrage	Significativité Interaction
Tetrachloroéthylène	0,021	0,003	0,025	TRUE	TRUE	TRUE
Trichloroéthylène	0,031	0,008	0,043	TRUE	TRUE	TRUE

Site 1 Influence de la purge – ANOVA sur 3 piézomètres et pour 2 campagnes

En réalisant un test de Tukey (à 5%), les différences de concentrations avant et après purge pour ces deux substances sont confirmées, elles sont liées à l'ouvrage Pz1 (pvalue à 0.037 pour le trichloroéthylène et pvalue à 0.022 pour le tétrachloroéthylène).

L'approche statistique confirme les enseignements de l'approche graphique et en particulier l'influence significative de la purge à proximité de la zone source (dans les ouvrages proches, considérant les résultats acquis en Pz1).

Site 2

MP1		
Polluant	Pvalue	Significativité
Benzène	0,190	FALSE
Ethylbenzène	0,180	FALSE
Indice Hydrocarbures (C10-C40)	0,268	FALSE
Naphtalène	0,832	FALSE
o-Xylène	0,750	FALSE
Toluène	0,846	FALSE
Xylène (méta-, para-)	0,587	FALSE
Toutes substances	0,721	FALSE

Site 2 Influence de la purge – Test de Student sur 2 piézomètres et pour 3 campagnes

Les résultats ci-dessus montrent que les concentrations sont similaires avant et après purge pour toutes les substances recherchées au cours des trois campagnes réalisées sur les ouvrages Pz2 et Pz3.

Toutefois, en réalisant une ANOVA et en prenant en compte un facteur « outil » et « ouvrage » avec interaction « outils/ouvrages », des différences significatives apparaissent pour l'indice hydrocarbures.

MP1						
Polluant	Pval_Outils	Pval_Ouvrages	Pval_Int	Significativité Outils	Significativité Ouvrage	Significativité Interaction
Indice Hydrocarbures (C10-C40)	0,069	0,047	0,035	FALSE	TRUE	TRUE

Site 2 Influence de la purge – ANOVA sur 2 piézomètres et pour 3 campagnes

Après un test de Tukey (à 5%), ces différences avant et après purge pour l'indice hydrocarbures sont à attribuer à l'ouvrage Pz3 (pvalue à 0.0421).

L'approche statistique confirme les enseignements de l'approche graphique, en particulier l'influence significative de la purge à proximité de la zone source (considérant les résultats acquis en Pz3).

Site 3

Bailer et PP36-LF		
Polluant	Pvalue	Significativité
Benzène	0,090	FALSE
Fluorène	0,218	FALSE
Naphtalène	0,042	TRUE
Phénanthrène	0,340	FALSE
m,p-Xylène	0,064	FALSE
Bailer		
Polluant	Pvalue	Significativité
Benzène	0,282	FALSE
Fluorène	0,470	FALSE
Naphtalène	0,191	FALSE
Phénanthrène	0,444	FALSE
m,p-Xylène	0,268	FALSE
Toutes substances	0,268	FALSE
PP36-LF		
Polluant	Pvalue	Significativité
Benzène	0,293	FALSE
Fluorène	0,164	FALSE
Naphtalène	0,204	FALSE
Phénanthrène	0,645	FALSE
m,p-Xylène	0,226	FALSE
Toutes substances	0,087	FALSE

Site 3 Influence de la purge – Test de Student sur 4 piézomètres et pour 2 campagnes

A l'exception du naphtalène, les résultats du test de Student portant sur les substances recherchées au cours de deux campagnes montrent des concentrations similaires quels que soient l'outil et l'ouvrage (Pz43, Pz44, Pz47 et Pz50). Toutefois, le test réalisé par « outil » (bailer puis PP36-LF) ne révèle quant à lui aucune différence de concentrations avant et après purge. Les différences concernant cette substance portent donc sur les résultats obtenus selon que le bailer ou la pompe immergée soit utilisé (cf. Pz44 en Figure 19).

L'ANOVA à deux facteurs avec interaction « outils/ouvrages » donne ici des différences significatives en fluorène avec la pompe PP36-LF. Un test de Tukey (à 5%) confirme cette observation pour la pompe immergée (pvalue 0.0362).

Ce résultat indique une concentration plus ou moins importante en fluorène dans le cadre de l'utilisation d'une pompe PP36-LF au niveau du Pz50.

PP36-LF						
Polluant	Pval_Outils	Pval_Ouvrages	Pval_Int	Significativité Outils	Significativité Ouvrage	Significativité Interaction
Fluorène	0,008	0,028	0,046	TRUE	TRUE	TRUE

Site 3 Influence de la purge – ANOVA sur 4 piézomètres et pour 2 campagnes

L'approche statistique menée avec les données acquises au cours de deux campagnes effectuées sur ce site confirme les enseignements de l'approche graphique. En effet, les résultats obtenus avec ou sans purge sont dans l'ensemble comparables, bien que certaines différences ponctuelles soient également confirmées (en particulier pour le fluorène).

Site 4

Bailer et PP36-LF		
Polluant	Pvalue	Significativité
Benzène	0,595	FALSE
Naphtalène	0,249	FALSE
Bailer		
Polluant	Pvalue	Significativité
Benzène	0,603	FALSE
Naphtalène	0,516	FALSE
Toutes substances	0,499	FALSE
PP36-LF		
Polluant	Pvalue	Significativité
Benzène	0,887	FALSE
Naphtalène	0,411	FALSE
Toutes substances	0,373	FALSE

Site 4 Influence de la purge – Test de Student sur 2 piézomètres et pour 2 campagnes

Pour les deux campagnes menées (avec données avant et après purge) les concentrations s'avèrent comparables quels que soient l'outil, la substance et l'ouvrage (P5, P6) en utilisant un test de Student.

En réalisant une ANOVA à deux facteurs, outils et ouvrages (sans interaction au regard des données disponibles), les concentrations en benzène avant et après purge sont différentes d'un ouvrage à l'autre. Ce constat est logique au regard de la localisation des piézomètres P5 et P6 (P5 plus proche de la source que P6).

Bailer				
Polluant	Pval_Outils	Pval_Ouvrages	Significativité Outils	Significativité Ouvrage
Benzène	0.205	0.003	FALSE	TRUE
Naphtalène	0.517	0.284	FALSE	FALSE
PP36-LF				
Polluant	Pval_Outils	Pval_Ouvrages	Significativité Outils	Significativité Ouvrage
Benzène	1,35E-05	6,45E-11	FALSE	TRUE
Naphtalène	0,399	0,350	FALSE	FALSE

Site 4 Influence de la purge – ANOVA sur 2 piézomètres et pour 2 campagnes

L'approche statistique menée à partir des données acquises au cours de deux campagnes confirme l'absence de différences significatives pour les résultats obtenus avec ou sans purge.

Site 5

Bailer et PP36_LF		
Polluant	Pvalue	Significativité
Arsenic (As)	0,1728	FALSE
Plomb (Pb)	0,9229	FALSE
Zinc (Zn)	0,3606	FALSE
Bailer		
Polluant	Pvalue	Significativité
Arsenic (As)	0,3739	FALSE
Plomb (Pb)	0,5584	FALSE
Zinc (Zn)	0,5949	FALSE
Toutes substances	0,5757	FALSE
PP36_LF		
Polluant	Pvalue	Significativité
Arsenic (As)	0,3910	FALSE
Plomb (Pb)	0,2874	FALSE
Zinc (Zn)	0,3579	FALSE
Toutes substances	0,1930	FALSE

Site 5 Influence de la purge – Test de Student sur 2 piézomètres et pour 3 campagnes

Un test de Student mené avec l'ensemble des données disponibles montre des concentrations comparables quels que soient l'outil, la substance et l'ouvrage (Pz4, Pz5).

En réalisant une ANOVA à deux facteurs avec interaction des différences significatives avant et après purge apparaissent pour l'arsenic, le plomb et le zinc concernant le bailer.

Le cas particulier du Pz6 est mis en exergue par un test de Tukey (5%) mais il s'agit d'un ouvrage non « conventionnel », de 1 m de profondeur et où seul le bailer a pu être testé au cours d'une seule campagne.

Bailer						
Polluant	Pval_Outils	Pval_Ouvrages	Pval_Int	Significativité Outils	Significativité Ouvrage	Significativité Interaction
Arsenic (As)	0,00031391	2,13E-05	0,00011414	TRUE	TRUE	TRUE
Plomb (Pb)	0,00103872	8,17E-06	0,00058577	TRUE	TRUE	TRUE
Zinc (Zn)	4,07E-08	9,89E-11	3,86E-08	TRUE	TRUE	TRUE

Site 5 Influence de la purge – ANOVA sur 2 piézomètres et pour 3 campagnes

L'approche statistique confirme l'existence de variations dans les résultats, variations que l'INERIS attribue à la présence de particules dans la nappe.

Site 6

PP36-LF		
Polluant	Pvalue	Significativité
Calcium (Ca) soluble	0,873	FALSE

Site 6 Influence de la purge – Test de Student sur 2 piézomètres et pour 2 campagnes

Un test de Student réalisé à partir des données disponibles et pour le calcium (cf. explication de ce choix dans l'approche graphique), montre que les concentrations sont similaires avant et après purge.

L'approche statistique confirme les enseignements de l'approche graphique.



INERIS

*maîtriser le risque
pour un développement durable*

Institut national de l'environnement industriel et des risques

Parc Technologique Alata
BP 2 - 60550 Verneuil-en-Halatte

Tél. : +33 (0)3 44 55 66 77 - Fax : +33 (0)3 44 55 66 99

E-mail : ineris@ineris.fr - Internet : <http://www.ineris.fr>