

Santé environnement

Exposition environnementale aux composés organiques volatils des riverains d'un ancien site industriel, Val-d'Oise (95)

Évaluation des risques sanitaires et appui
à la décision sanitaire

Céline Legout, Morgane Trouillet

Sommaire

| | |
|---|-----------|
| Abréviations | 2 |
| 1. Signal | 4 |
| 2. Objectifs | 4 |
| 3. Méthode | 5 |
| 3.1 Évaluation des expositions | 5 |
| 3.2 Évaluation des risques sanitaires associés aux expositions | 5 |
| 3.3 Éléments d'appui à la décision | 6 |
| 4. Résultats | 6 |
| 4.1 Caractérisation du site | 6 |
| 4.2 Évaluation des expositions | 7 |
| 4.3 Évaluation des risques sanitaires associés | 9 |
| 4.3.1 Étude de danger | 9 |
| 4.3.2 Choix des traceurs de risque | 13 |
| 4.3.3 Populations sensibles au benzène | 13 |
| 4.4 Quantification des risques : risque de survenue d'effets toxiques du benzène dans la population exposée | 14 |
| 4.4.1 Paramètres retenus | 14 |
| 4.4.2 Résultat pour le scénario « moyen » | 15 |
| 4.4.3 Résultat des calculs pour le scénario « maximal » | 17 |
| 4.5 État de l'art sur les biomarqueurs du benzène | 17 |
| 4.5.1 Biomarqueurs d'exposition du benzène | 17 |
| 4.5.2 Indicateurs biologiques d'effets précoces du benzène | 18 |
| 4.6 Retour d'expérience sur des situations d'exposition environnementale au benzène | 18 |
| 4.7 Investigations complémentaires à mettre en œuvre | 18 |
| 5. Conclusions et recommandations | 19 |
| Références bibliographiques | 21 |
| Annexes | 23 |

Exposition environnementale aux composés organiques volatils des riverains d'un ancien site industriel, Val-d'Oise (95)

Évaluation des risques sanitaires et appui
à la décision sanitaire

Auteurs : Céline Legout, Morgane Trouillet – Cellule de l'Institut de veille sanitaire (InVS) en régions (Cire) Ile-de-France - Champagne Ardenne

Ont participé à ce rapport :

Dr Robert Garnier, Centre antipoison et de toxicovigilance (CAPTV) de Paris, Assistance publique-hôpitaux de Paris (AP-HP)

Abréviations

| | |
|--------------------|--|
| Afsset | Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail |
| Anses | Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ex Afsset) |
| ARS | Agence régionale de santé |
| ATSDR | Agency for Toxic Substances and Disease Registry |
| BRGM | Bureau de recherches géologiques et minières |
| BTEX | Benzène, toluène, éthylbenzène, xylènes |
| CAPTIV | Centre antipoison et de toxicovigilance |
| CI | Concentration d'inhalation |
| Cire IdF-CA | Cellule de l'InVS en régions Ile-de-France - Champagne-Ardenne |
| Cmax | Concentration maximale |
| CMR | Cancérogène, mutagène, reprotoxique |
| DRIEE | Direction régionale et interdépartementale de l'environnement et de l'énergie |
| DT95 | Délégation territoriale du Val-d'Oise (ARS) |
| EQRS | Évaluation quantitative des risques sanitaires |
| ERI | Excès de risque individuel |
| ERU | Excès de risque unitaire |
| HCSP | Haut conseil de santé publique |
| IARC | International Agency for Research on Cancer |
| INRS | Institut national de recherche et de sécurité |
| Insee | Institut national de la statistique et des études économiques |
| InVS | Institut de veille sanitaire |
| LA | Leucémie aiguë |
| LAL | Leucémie aiguë lymphoblastique |
| LAM | Leucémie aiguë myéloïde |
| LMC | Leucémie myéloïde chronique |
| LOAEL | Lowest Adverse Effect Level |
| NFS | Numération formule sanguine |

| | |
|---------------|--|
| NOAEL | No Observed Adverse Health Effects Level |
| OMS | Organisation mondiale de la santé |
| OQAI | Observatoire de la qualité de l'air intérieur |
| QD | Quotient de danger |
| RfC | Reference concentration |
| RIVM | Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (National Institute for Public Health and the Environment) |
| US EPA | United States Environmental Protection Agency |
| VGAI | Valeur guide pour l'air intérieur |
| VME | Valeur moyenne d'exposition |
| VTR | Valeur toxicologique de référence |

1. Signal

Par courrier en date du 1^{er} août 2014, la délégation territoriale du Val-d'Oise (DT95) de l'Agence régionale de santé (ARS) Ile-de-France sollicitait l'appui de l'Institut de veille sanitaire (InVS) concernant une pollution d'origine industrielle dans le Val-d'Oise, entraînant une exposition des riverains de la zone pavillonnaire limitrophe à des concentrations élevées de composés organiques volatils. En particulier, certaines concentrations de benzène mesurées dans l'air intérieur des logements dépassaient les valeurs de gestion recommandées par le Haut conseil de santé publique (HCSP).

La pollution provient d'une parcelle actuellement en friche, et occupée de 1948 à 1996 par une activité industrielle de fabrication de produits chimiques (composés organométalliques). Cette pollution a été découverte en mars 1997 suite à une résurgence d'hydrocarbures dans un ruisseau situé à proximité du site. Des investigations prescrites par arrêté préfectoral en 1998 ont révélé que des déchets de process avaient été enfouis dans la partie haute du site entre 1965 et 1985, et que l'écoulement d'hydrocarbures était lié à une contamination de la nappe d'eau souterraine. Différentes phases de diagnostic et de travaux ont été mises en œuvre afin de limiter la propagation des composés polluants en dehors des limites cadastrales du site. Depuis, la procédure administrative visant la dépollution du site et des pavillons impactés aux alentours (diagnostic environnemental, actions correctrices, plan(s) d'action...) fait l'objet d'une forte implication et d'un suivi régulier par les services de l'ARS, de la préfecture, notamment l'unité territoriale de la Direction régionale et interdépartementale de l'environnement et de l'énergie (DRIEE) du Val-d'Oise, et de la Cellule de l'InVS en régions Ile-de-France - Champagne-Ardenne (Cire IdF-CA).

Des campagnes de mesures annuelles ont été demandées à l'ancien exploitant du site par des arrêtés préfectoraux complémentaires, tant dans les eaux souterraines que dans les maisons limitrophes. Le programme analytique ciblé initialement sur le benzène et l'éthylbenzène, ainsi que le périmètre d'investigation, ont été élargis au cours du temps : à ce jour la surveillance de l'air intérieur porte sur l'ensemble des hydrocarbures aromatiques BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes) et certaines coupes d'hydrocarbures, sur un total de 21 pavillons situés à proximité du site. Suite à une tierce expertise du Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM), des mesures correctrices ont déjà été entreprises au niveau de certains logements pour réduire les expositions, en particulier par la mise en place de ventilation mécanique. Un dernier plan d'action a été remis par l'exploitant aux autorités en avril 2014.

Sur la base du diagnostic environnemental consolidé produit par l'exploitant (rapport de mars 2014 et synthèse de janvier 2015 – documents non publics) l'ARS-DT95 sollicite la Cire IdF-CA pour « évaluer les niveaux d'exposition des riverains et les risques sanitaires associés, et contribuer à définir la position de l'ARS quant à l'opportunité d'une prise en charge sanitaire spécifique des populations riveraines du site, au niveau collectif (dépistage, étude d'imprégnation) et/ou individuel (examen médical) ».

Le présent document vise à donner des premiers éléments de réponse à la sollicitation de l'ARS-DT95.

2. Objectifs

Après un bref rappel sur le site et son environnement, l'investigation mise en place par la Cire IdF-CA vise à :

- évaluer les expositions des riverains à la pollution d'origine industrielle ;
- évaluer les risques sanitaires associés ;
- apporter des éléments (quantification des risques et état de l'art sur les biomarqueurs) d'aide à la décision pour une éventuelle prise en charge sanitaire individuelle ou collective ;
- Identifier les autres investigations ou études complémentaires à mettre en œuvre le cas échéant.

3. Méthode

3.1 Évaluation des expositions

De nombreux composés organiques volatils, dont les BTEX, sont présents dans la composition de produits chimiques à usage domestique (cigarette, essence, produits ménagers, produits de combustion liés à la cuisson, gaz d'échappement...) et dans les matériaux de construction et décoration (peintures, vernis...). Cependant, les riverains étant exposés à la totalité de la pollution mesurée dans leurs pièces de vie, l'évaluation des expositions et des risques associés proposée ici tient compte des concentrations maximales mesurées dans les pièces de vie des riverains, sans présumer de l'origine (industrielle, domestique) de ces pollutions.

L'hypothèse a été faite que sauf exception, les pièces de vie des riverains se situaient en rez-de-chaussée des pavillons et que les mesures faites en sous-sols (garages, ateliers et cave) ne reflétaient pas l'exposition quotidienne des riverains.

Ainsi sur la base de la synthèse environnementale produite en janvier 2015, la Cire IdF-CA a recensé pour chaque maison les concentrations maximales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de BTEX et hydrocarbures volatils C6-C12 (ou à défaut C5-C10) détectées en rez-de-chaussée des 21 pavillons sur l'ensemble de la période de surveillance. Ces concentrations ont été comparées aux valeurs de référence disponibles : valeurs réglementaires [1], valeurs de gestion sanitaire du HCSP [2] ou à défaut valeurs guides de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) [3] ou de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) [4;5] établies pour l'exposition chronique, valeurs au 95^e percentile des concentrations ambiantes usuelles détectées dans les logements français selon l'étude de l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) [6] quand elles existent, et à défaut valeur moyenne d'exposition sur 8 heures (VME) en milieu professionnel de l'Institut national de recherche et de sécurité (INRS) [7;8]. Les résultats de mesure des coupes d'hydrocarbures C10-C21 et C5-C21 n'ont pas été exploités faute de valeur de référence.

3.2 Évaluation des risques sanitaires associés aux expositions

Pour chaque pavillon, et pour chaque substance retenue, des ratios ont été calculés entre la concentration maximale détectée au rez-de-chaussée (toutes campagnes confondues) et les différentes valeurs de référence, en vue de sélectionner un (des) traceur(s) de risque. Pour chaque traceur de risque, la Cire IdF-CA a synthétisé les points clés sur les effets à seuil et effets cancérigènes pour l'homme, associés à une exposition chronique par inhalation, l'exposition des riverains étant incontestablement chronique (>1 an) au regard de la date présumée de début de la pollution (1998). Cette analyse a été réalisée avec l'appui du Centre antipoison et de toxicovigilance (CAPTV) de Paris et à partir des monographies toxicologiques et classements des agences de référence en toxicologie : Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), United States Environmental Protection Agency (US EPA), International Agency for Research on Cancer (IARC) [9], classement cancérigène, mutagène, reprotoxique (CMR¹) de l'Union européenne. Les fiches toxicologiques établies par l'INRS [10-12] et les avis produits par l'Anses [5;19], et éventuellement par le HCSP ont également été consultés. Une analyse bibliographique des études épidémiologiques dans des contextes d'exposition environnementale similaire a été menée [13]. Enfin, les caractéristiques individuelles susceptibles de conférer une plus grande sensibilité à ces expositions ont été recherchées. Pour les composés n'ayant pas été retenus comme traceurs, une vérification a été faite de l'absence de toxicité particulière pour l'homme pour une exposition chronique par inhalation. Dans le cas contraire, le composé aurait été réintégré parmi les traceurs.

¹ site : <http://www.substitution-cmr.fr>

3.3 Éléments d'appui à la décision

La prise en charge sanitaire des populations exposées peut être individuelle (ex : suivi médical, mesure de l'exposition) ou collective (surveillance populationnelle des expositions ou des effets sanitaires). Sur la base des connaissances toxicologiques ou épidémiologiques disponibles explicitées plus haut, la Cire IdF-CA a recensé avec l'appui du CAPTV de Paris les biomarqueurs d'exposition et d'effets associés aux traceurs de risque et possiblement utilisables dans un contexte d'exposition environnementale [14]. Ces éléments permettent d'orienter la décision de l'ARS quant à la faisabilité et la pertinence de doser ces biomarqueurs, à des fins de surveillance populationnelle, ou alternativement de prise en charge médicale individuelle. Un calcul de type Évaluation quantitative des risques sanitaires (EQRS) a été réalisé pour les effets à seuil et sans seuil de(s) traceur(s) de risque pour estimer l'impact sanitaire attendu selon deux scénarii d'exposition (médiann, maximaliste) et le confronter aux risques dits « acceptables ». Les valeurs toxicologiques de référence applicables pour ce calcul ont été sélectionnées à partir des monographies toxicologiques des agences de référence citées plus haut (US EPA, ATSDR, Anses...) et préalablement vérifiées sur furetox². En ce qui concerne l'interprétation des effets cancérogènes, le sur-risque de cancer associé à l'exposition a, de plus, été comparé au nombre de cancers normalement attendu dans la communauté selon les incidences mesurées en population générale française [15;16]. Enfin, ces divers éléments ont été confrontés avec d'autres réponses apportées par l'InVS dans des contextes de pollution similaire, en particulier la démarche de santé publique proposée par la Cire Normandie dans un contexte d'exposition de riverains au benzène à Petit Couronne (Seine Maritime, 2011) [17] et l'expertise sanitaire coordonnée par la Cire IdF-CA concernant une situation d'exposition de riverains à des concentrations élevées de vapeurs d'essence dans une commune du Val-de-Marne en 2010 [18].

Enfin, les éventuels compléments d'information à recueillir sont identifiés. Ils peuvent concerner soit la contamination des milieux ou l'exposition des riverains, en particulier sur l'étendue des contaminations, soit la caractérisation de la population exposée ou le recensement d'autres usages sensibles.

La bibliographie étudiée est indiquée en fin de document.

4. Résultats

4.1 Caractérisation du site

Le site d'étude est localisé dans une commune du Val-d'Oise (95) en région Ile-de-France.

Un ruisseau s'écoule en bordure du site. Lors du dernier recensement de 2011, la population de la commune était estimée à 9 262 habitants. La commune compte actuellement 1 776 jeunes âgés de moins de 15 ans (ratio H/F : 1,07) et 1 302 personnes âgées de 65 ans et plus (ratio H/F : 0,62)³.

Le site est situé à 500 mètres du centre-ville, sur une parcelle proche d'une zone pavillonnaire. Un établissement d'enseignement du second degré se situe au nord-est du site (figure 1). Cet établissement est le seul collège recensé dans la commune. Il n'a pas été recensé d'établissement à caractère sanitaire, médico-social ou social à proximité du site.

² www.furetox.fr.

³ Source : Institut national de la statistique et des études économiques (Insee) - dernier recensement de 2011, consulté le 20/10/2014.

I Figure 1 I

Localisation du site



Légende : en vert : pavillons investigués - en rouge : site de l'entreprise - en marron : collège.

4. 2 Évaluation des expositions

La synthèse environnementale de 2015 ne précisait pas systématiquement si les prélèvements effectués dans les pavillons étaient en mode actif (pompage sur 1 heure) ou passif (sur 7 jours), ces derniers étant à privilégier pour caractériser le niveau des expositions chroniques des riverains. Cependant, dans le rapport détaillé de 2014, il est indiqué que le prélèvement actif était privilégié jusqu'en 2011 et s'est doublé d'un prélèvement passif à compter de 2012. Sur les campagnes de mesures des BTEX en 2012 et 2013, un comparatif des résultats obtenus pour un même composé selon les 2 méthodes a montré une cohérence relativement bonne entre les deux types de prélèvement (cohérence meilleure pour le benzène et l'éthylbenzène que pour le toluène et les xylènes). Aussi, la Cire IdF-CA a considéré les résultats de mesures tels qu'ils apparaissaient dans la synthèse (prélèvement actif, passif, ou indéterminé) sans restreindre l'analyse à un seul type de prélèvement.

Par ailleurs, l'OQAI propose deux valeurs rendant compte de la distribution des niveaux de xylènes dans les logements français, selon l'isomère considéré : pour les m,p-xylènes le 95^e percentile est égal à 39,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, et pour les o-xylènes, le 95^e percentile est de 14,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Les xylènes mesurés par les campagnes de mesure correspondant à la somme des isomères ortho, méta et para xylènes, les concentrations mesurées ont été comparées à la plus grande des deux valeurs de référence soit celle des m,p-xylènes, ce qui reste protecteur.

La synthèse des données d'exposition maison par maison (M1 à M21) est présentée en tableau 1, page suivante.

I Tableau 11

Synthèse des concentrations maximales (Cmax) des principaux polluants détectés dans l'air ambiant au rez-de-chaussée des pavillons alentours, depuis le début de la surveillance

| Adresse | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 | M9 | M10 | M11 | M12 | M13 | M14 | M15 | M16 | M17 | M18 | M19 | M20 | M21 |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Année de début de la surveillance du RDC | 2014 | 2014 | 2012 | 2010 | 2003 | 2003 | 2003 | 2002 | 2005 | 2003 | 2004 | 2003 | 2004 | 2003 | 2004 | 2014 | 2014 | 2012 | 2010 | 2004 | 2003 |
| BENZENE (Groupe 1 - cancérigène avéré pour l'Homme - source IARC) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cmax (µg/m³) | 3,0 | 4,0 | 13,5 | 5,3 | 3,4 | 31,8 | 20,2 | 12,2 | 9,8 | 16,1 | 33,2 | 50,4 | 3,2 | 18,3 | 10,0 | 1,3 | 3,1 | 4,2 | 7,7 | 3,5 | 12,8 |
| Valeur repère VR*, HCSP en 2014 (µg/m³) | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
| Cmax/VR | 1,0 | 1,3 | 4,5 | 1,8 | 1,1 | 10,6 | 6,7 | 4,1 | 3,3 | 5,4 | 11,1 | 16,8 | 1,1 | 6,1 | 3,3 | 0,4 | 1,0 | 1,4 | 2,6 | 1,2 | 4,3 |
| Percentile 95 OQAI (µg/m³) | 7,2 | 7,2 | 7,2 | 7,2 | 7,2 | 7,2 | 7,2 | 7,2 | 7,2 | 7,2 | 7,2 | 7,2 | 7,2 | 7,2 | 7,2 | 7,2 | 7,2 | 7,2 | 7,2 | 7,2 | 7,2 |
| Cmax/P95 OQAI | 0,4 | 0,6 | 1,9 | 0,7 | 0,5 | 4,4 | 2,8 | 1,7 | 1,4 | 2,2 | 4,6 | 7,0 | 0,4 | 2,5 | 1,4 | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 1,1 | 0,5 | 1,8 |
| VME (µg/m³) | 3250 | 3250 | 3250 | 3250 | 3250 | 3250 | 3250 | 3250 | 3250 | 3250 | 3250 | 3250 | 3250 | 3250 | 3250 | 3250 | 3250 | 3250 | 3250 | 3250 | 3250 |
| Cmax/VME | 9,4E-04 | 1,2E-03 | 4,2E-03 | 1,6E-03 | 1,0E-03 | 9,8E-03 | 6,2E-03 | 3,8E-03 | 3,0E-03 | 5,0E-03 | 1,0E-02 | 1,6E-02 | 9,8E-04 | 5,6E-03 | 3,1E-03 | 3,9E-04 | 9,5E-04 | 1,3E-03 | 2,4E-03 | 1,1E-03 | 3,9E-03 |
| ETHYLBENZENE (Groupe 2B - possiblement cancérigène pour l'Homme - source IARC) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cmax (µg/m³) | 2,5 | 5,4 | 18,3 | 13,3 | 6,9 | 110,0 | 52,8 | 73,6 | 8,0 | 61,2 | 69,0 | 59,6 | 14,0 | 24,5 | 16,1 | 2,7 | 1,4 | 4,3 | 10,9 | 52,4 | 13,6 |
| Valeur repère VR, OMS** (µg/m³) | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 |
| Cmax/VR | 1,1E-04 | 2,5E-04 | 8,3E-04 | 6,1E-04 | 3,1E-04 | 5,0E-03 | 2,4E-03 | 3,3E-03 | 3,6E-04 | 2,8E-03 | 3,1E-03 | 2,7E-03 | 6,4E-04 | 1,1E-03 | 7,3E-04 | 1,2E-04 | 6,2E-05 | 2,0E-04 | 5,0E-04 | 2,4E-03 | 6,2E-04 |
| Percentile 95 OQAI (µg/m³) | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 |
| Cmax/P95 OQAI | 0,2 | 0,4 | 1,2 | 0,9 | 0,5 | 7,3 | 3,5 | 4,9 | 0,5 | 4,1 | 4,6 | 4,0 | 0,9 | 1,6 | 1,1 | 0,2 | 0,1 | 0,3 | 0,7 | 3,5 | 0,9 |
| VME (µg/m³) | 88400 | 88400 | 88400 | 88400 | 88400 | 88400 | 88400 | 88400 | 88400 | 88400 | 88400 | 88400 | 88400 | 88400 | 88400 | 88400 | 88400 | 88400 | 88400 | 88400 | 88400 |
| Cmax/VME | 2,8E-05 | 6,1E-05 | 2,1E-04 | 1,5E-04 | 7,8E-05 | 1,2E-03 | 6,0E-04 | 8,3E-04 | 9,0E-05 | 6,9E-04 | 7,8E-04 | 6,7E-04 | 1,6E-04 | 2,8E-04 | 1,8E-04 | 3,1E-05 | 1,5E-05 | 4,9E-05 | 1,2E-04 | 5,9E-04 | 1,5E-04 |
| XYLÈNES (Groupe 3 - Indisposables concernant leur cancérigénicité pour l'Homme - source IARC) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cmax (µg/m³) | 9,7 | 16,6 | 85,3 | 57,9 | 13,8 | 339,3 | 71,5 | 335,9 | 12,9 | 200,4 | 220,4 | 287,4 | 42,0 | 83,8 | 43,5 | 7,0 | 3,1 | 4,6 | 52,4 | 167,2 | 35,3 |
| Valeur repère VR (µg/m³) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Cmax/VR | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Percentile 95 OQAI*** (µg/m³) | 39,7 | 39,7 | 39,7 | 39,7 | 39,7 | 39,7 | 39,7 | 39,7 | 39,7 | 39,7 | 39,7 | 39,7 | 39,7 | 39,7 | 39,7 | 39,7 | 39,7 | 39,7 | 39,7 | 39,7 | 39,7 |
| Cmax/P95 OQAI | 0,2 | 0,4 | 2,1 | 1,5 | 0,3 | 8,5 | 1,8 | 8,5 | 0,3 | 5,0 | 5,6 | 7,2 | 1,1 | 2,1 | 1,1 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 1,3 | 4,2 | 0,9 |
| VME (µg/m³) | 221000 | 221000 | 221000 | 221000 | 221000 | 221000 | 221000 | 221000 | 221000 | 221000 | 221000 | 221000 | 221000 | 221000 | 221000 | 221000 | 221000 | 221000 | 221000 | 221000 | 221000 |
| Cmax/VME | 4,4E-05 | 7,5E-05 | 3,9E-04 | 2,6E-04 | 6,2E-05 | 1,5E-03 | 3,2E-04 | 1,5E-03 | 5,8E-05 | 9,1E-04 | 1,0E-03 | 1,3E-03 | 1,9E-04 | 3,8E-04 | 2,0E-04 | 3,2E-05 | 1,4E-05 | 2,1E-05 | 2,4E-04 | 7,6E-04 | 1,6E-04 |
| TOLUENE (Groupe 3 - Indisposables concernant leur cancérigénicité pour l'Homme - source IARC) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cmax (µg/m³) | 10,2 | 16,1 | 155,8 | 62,7 | 17,0 | 106,2 | 34,6 | 283,4 | 43,5 | 234,3 | 171,5 | 509,4 | 37,6 | 192,2 | 43,7 | 7,1 | 3,9 | 22,3 | 76,3 | 228,4 | 22,3 |
| Valeur repère hebdomadaire, OMS (2000) (µg/m³) | 260 | 260 | 260 | 260 | 260 | 260 | 260 | 260 | 260 | 260 | 260 | 260 | 260 | 260 | 260 | 260 | 260 | 260 | 260 | 260 | 260 |
| Cmax/VR | 3,9E-02 | 6,2E-02 | 6,0E-01 | 2,4E-01 | 6,5E-02 | 4,1E-01 | 1,3E-01 | 1,1E+00 | 1,7E-01 | 9,0E-01 | 6,6E-01 | 2,0E+00 | 1,4E-01 | 7,4E-01 | 1,7E-01 | 2,7E-02 | 1,5E-02 | 8,6E-02 | 2,9E-01 | 8,8E-01 | 8,6E-02 |
| Percentile 95 OQAI (µg/m³) | 82,9 | 82,9 | 82,9 | 82,9 | 82,9 | 82,9 | 82,9 | 82,9 | 82,9 | 82,9 | 82,9 | 82,9 | 82,9 | 82,9 | 82,9 | 82,9 | 82,9 | 82,9 | 82,9 | 82,9 | 82,9 |
| Cmax/P95 OQAI | 0,1 | 0,2 | 1,9 | 0,8 | 0,2 | 1,3 | 0,4 | 3,4 | 0,5 | 2,8 | 2,1 | 6,1 | 0,5 | 2,3 | 0,5 | 0,1 | 0,0 | 0,3 | 0,9 | 2,8 | 0,3 |
| VME (µg/m³) | 76800 | 76800 | 76800 | 76800 | 76800 | 76800 | 76800 | 76800 | 76800 | 76800 | 76800 | 76800 | 76800 | 76800 | 76800 | 76800 | 76800 | 76800 | 76800 | 76800 | 76800 |
| Cmax/VME | 1,3E-04 | 2,1E-04 | 2,0E-03 | 8,2E-04 | 2,2E-04 | 1,4E-03 | 4,5E-04 | 3,7E-03 | 5,7E-04 | 3,1E-03 | 6,6E-03 | 6,6E-03 | 4,9E-04 | 2,5E-03 | 5,7E-04 | 9,2E-05 | 5,1E-05 | 2,9E-04 | 9,9E-04 | 3,0E-03 | 2,9E-04 |
| HYDROCARBURES VOLATILS GS-C12 ou à défaut C6-C10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cmax (µg/m³) | 173,7 | 214,8 | 807,4 | 92,6 | 26,1 | 548,7 | 516,1 | 1111,5 | 36,1 | 112,1 | 52,1 | 289,5 | 1204,6 | 211,5 | 90,9 | 88,8 | 151,9 | 213,6 | 32,1 | 74,4 | 125,9 |
| Valeur repère VR (µg/m³) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Cmax/VR | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Percentile 95 OQAI (µg/m³) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Cmax/P95 OQAI | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| VME (µg/m³) | 1000000 | 1000000 | 1000000 | 1000000 | 1000000 | 1000000 | 1000000 | 1000000 | 1000000 | 1000000 | 1000000 | 1000000 | 1000000 | 1000000 | 1000000 | 1000000 | 1000000 | 1000000 | 1000000 | 1000000 | 1000000 |
| Cmax/VME | 1,7E-04 | 2,1E-04 | 8,1E-04 | 9,3E-05 | 2,6E-05 | 5,5E-04 | 5,2E-04 | 1,1E-04 | 3,6E-05 | 1,1E-04 | 5,2E-05 | 2,9E-04 | 1,2E-03 | 2,1E-04 | 9,1E-05 | 8,9E-05 | 1,5E-04 | 2,1E-04 | 3,2E-05 | 7,4E-05 | 1,3E-04 |

* valeur repère du HCSP de 5 µg/m³ devant évoluer à partir de 2012 avec une pente décroissante de 1 µg/m³ par an soit 3 µg/m³ applicable à compter du 1^{er} janvier 2015. Valeur confirmée par décret 2011-1727 du 2 décembre 2011
 ** Air quality guidelines non retrouvées sur le site OMS mais cité sur le site WEB d'Airparif
 *** percentile 95 OQAI du mp-xylène (le plus haut).

Source : bureau d'étude, janvier 2015 – référence OQAI utilisée : mp-xylènes.

4. 3 Évaluation des risques sanitaires associés

4.3.1 Étude de danger

4.3.1.1 Le benzène

a) Toxicité du benzène (effets à seuil) pour des expositions aiguës

Lors d'expositions aiguës aux hydrocarbures volatils comme le benzène, le premier système touché est le système neurologique : sensation d'ébriété, étourdissement, vomissement, difficultés de concentration, somnolence, voire coma pour des situations extrêmes. Ces troubles neurologiques ont été observés chez des salariés en ambiance professionnelle pour des niveaux dépassant les valeurs limites réglementaires en milieu du travail ($VME = 3\ 250\ \mu\text{g}/\text{m}^3$). Il n'existe peu ou pas d'étude épidémiologique sur la population générale.

Les concentrations détectées dans les pavillons sont inférieures d'un facteur variant de 64 à 2 600 aux valeurs limites d'exposition professionnelle. Bien que les valeurs réglementaires en milieu du travail s'adressent à une population de « travailleurs sains », cette marge de sécurité semble suffisante pour protéger les personnes plus sensibles (enfants, personnes âgées) de l'apparition d'effets liés à l'exposition aiguë au benzène.

b) Toxicité du benzène pour des expositions chroniques : effets à seuil et effet sans seuil

Les études humaines concernant les effets du benzène par inhalation après une exposition chronique sont nombreuses et généralement très bien documentées. Selon l'Afsset [5], concernant les effets à seuil du benzène chez l'homme, la cible du benzène est le système hématopoïétique et l'atteinte de la moelle osseuse est un des premiers signes de la toxicité chronique du benzène. Les symptômes généralement observés chez l'homme sont une pancytopenie, une thrombopénie, une granulopénie, une lymphopénie et/ou une anémie aplasique. L'anémie aplasique est un des effets hématologiques les plus sévères induits par l'inhalation de benzène et peut évoluer vers un syndrome myéloprolifératif ou une leucémie.

Dans l'Union européenne, le benzène n'est pas classé comme toxique pour la reproduction humaine. Pour l'Afsset [5] les effets sur le développement ont été peu étudiés chez l'homme mais les études les plus récentes tendent à montrer que des expositions au benzène, en présence d'autres facteurs de risque professionnels, pourraient être associées à des petits poids de naissance. Ces informations peuvent être rapprochées de l'analyse des études animales, qui indiquaient que le benzène n'était pas tératogène, les seuls signes de fœtotoxicité étant la diminution du poids du fœtus chez le rat (une étude).

Les effets critiques à seuil de dose sont les effets hématologiques du benzène. Pour protéger de la survenue des effets hématologiques non cancérogènes, l'Afsset [5] a établi en 2008 une valeur guide pour la qualité de l'air à $10\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une exposition supérieure à un an (valeur guide pour l'air intérieur (VGAi) long terme effets à seuil). Elle est reprise de l'ATSDR qui l'a construite à partir de la Benchmark dose 0,25 % ($BMD_{0,25}$: dose entraînant l'effet rapporté dans 25 % de la population) pour l'effet lymphopéniant du benzène, calculée dans une cohorte de travailleurs chinois exposés au benzène. Celle-ci était de 0,03 ppm (soit $97,5\ \mu\text{g}/\text{m}^3$) et il lui a été appliqué un facteur d'incertitude de 10 pour tenir compte de la variabilité interindividuelle de la sensibilité aux effets toxiques du benzène.

D'autre part, le benzène est impliqué dans la survenue d'effets hématologiques cancérogènes et il est génotoxique. Il est classé comme M1B (substances dont la capacité d'induire des mutations héréditaires dans les cellules germinales des êtres humains est supposée) par la Commission européenne. Il a induit des mutations, des aberrations chromosomiques et des échanges de chromatides-sœurs dans de nombreux systèmes utilisant de cellules de mammifères, *in vitro* et *in vivo*, dans toutes les espèces animales dans lesquelles il a été testé et chez l'homme. L'Anses retient le fait que le benzène et ses métabolites produisent des effets génotoxiques (aberrations

chromosomiques, mutations géniques...) dont une partie (aberrations chromosomiques dites déséquilibrées) possède une relation dose-réponse sans seuil [19].

Les études épidémiologiques rapportent une association causale entre l'exposition au benzène et certaines leucémies (leucémie myéloblastique aiguë, leucémie aiguë lymphoblastique et leucémie myéloïde chronique) [19]. Le benzène est reconnu comme cancérigène avéré pour l'homme par l'ensemble des agences d'expertise (groupe A pour US EPA, groupe 1 pour l'IARC, catégorie 1A (H 350) pour la Commission européenne). La période de latence entre l'exposition et la survenue de ce type de leucémies peut atteindre 10 années, voire plus. L'effet leucémogène du benzène est une relation dose-réponse sans seuil. Pour protéger la population générale de ce type d'effet, l'OMS ne fixe donc pas de « valeur limite » mais exprime l'augmentation du risque de leucémies pour différents niveaux d'exposition [3]. L'excès de risque unitaire (ERU) calculé par l'OMS est de $6.10^{-6} (\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})^{-1}$. Ainsi une exposition chronique pendant 70 ans à une concentration de benzène de $1,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ entraînerait une augmentation de risque de leucémie de 1/100 000 (soit 10^{-5}), sous l'hypothèse d'une relation linéaire aux faibles doses.

En 2008, l'Afsset a proposé une valeur guide de la qualité de l'air à $1,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (VGAI long terme – effets sans seuil) correspondant à un excès de risque de leucémie de 10^{-5} pour une durée d'exposition vie entière et calculé à partir de l'ERU proposé par l'OMS de 6.10^{-6} par $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Cependant, dans un nouveau rapport daté de juillet 2014, l'Anses (ex Afsset) [19] recommande de diminuer cette valeur guide au regard des nouvelles études disponibles sur la cohorte « Pliofilm ». Elle propose, pour les effets cancérigènes du benzène, une nouvelle valeur de référence de $0,38 \mu\text{g}/\text{m}^3$, correspondant à un excès de risque de leucémie de 10^{-5} pour une exposition vie entière et calculé à partir d'un ERU de $2,6 10^{-5} (\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})^{-1}$.

4.3.1.2 Les xylènes

Les effets des xylènes sur l'homme ont été évalués par des études sur des volontaires, des études de cas d'exposition accidentelle en milieu du travail ou des études épidémiologiques chez des salariés exposés à long terme, de façon répétée à des vapeurs de xylènes. Chez l'homme, les études relatives aux effets systémiques (à seuil) des xylènes par inhalation indiquent que les effets critiques sont neurotoxiques :

- en cas d'exposition aiguë, comme tous les hydrocarbures pétroliers liquides distillant au-dessous de $300\text{ }^{\circ}\text{C}$, les xylènes sont irritants (pour la peau en cas de contact direct prolongé ; pour les yeux et les voies aériennes en cas d'exposition à des aérosols ou à des fortes concentrations de vapeurs). Ils sont déprimeurs du système nerveux central, ce qui se traduit par un syndrome ébrié, puis un coma, en cas d'exposition massive ; lorsqu'ils sont ingérés, ils produisent une pneumopathie d'inhalation ;
- en cas d'exposition répétée, ils sont responsables de troubles digestifs mineurs (anorexie, nausées, épigastralgies, vomissements, diarrhée). À forte concentration, l'exposition répétée aux vapeurs de xylènes peut également produire une irritation des voies aériennes. Les contacts cutanés directs répétés avec les xylènes liquides produisent une dermatite d'irritation. La toxicité systémique à terme des xylènes est celle de tous les hydrocarbures distillant au-dessous de $300\text{ }^{\circ}\text{C}$: des troubles mentaux organiques (détérioration intellectuelle, troubles de l'humeur et de la personnalité) ont été observés chez des travailleurs exposés au long cours à des concentrations supérieures aux limites recommandées en milieu de travail. Des travaux expérimentaux indiquent une toxicité du para-xylène (mais pas des autres isomères) pour l'oreille interne chez le rat (mais pas chez le cobaye). On ne dispose pas d'information sur la toxicité auditive des xylènes chez l'homme. Un seul cas de tubulopathie distale avec acidose hyperchlorémique et hypokaliémie a été observé chez un sniffer de peinture contenant des xylènes ; c'est une complication souvent rapportée de l'inhalation de toluène. Par ailleurs, d'assez nombreuses études épidémiologiques ont rapporté des risques d'aggravation d'une insuffisance rénale préexistante et d'altérations fonctionnelles tubulaires ou glomérulaires associées à l'exposition professionnelle à des solvants organiques quelle qu'en soit la nature chimique. Les xylènes ne sont pas hépatotoxiques, mais l'exposition répétée à des fortes concentrations de ces solvants peut induire l'activité de diverses enzymes hépatiques, en particulier celle de certains isoenzymes des monooxygénases à cytochrome P450. Contrairement au benzène, les xylènes n'ont pas de toxicité hématologique. Les xylènes passent librement la barrière placentaire. Expérimentalement,

l'administration pendant la gestation a produit des effets fœtotoxiques dans plusieurs espèces animales, mais en règle générale, seulement à des doses toxiques pour les mères. D'assez nombreuses études épidémiologiques indiquent un excès de risque modéré, mais statistiquement significatif, d'avortement ou de prématurité associé à l'exposition à des solvants organiques pendant la grossesse [11]. L'Union européenne ne classe pas les xylènes parmi les substances toxiques pour la reproduction chez l'homme. Il n'est pas classé non plus comme substance génotoxique. Selon l'IARC [9], les xylènes ne sont pas classables quant à leur cancérogénicité pour l'homme, l'augmentation du risque de cancers hématopoïétiques suggérés par quelques études étant possiblement attribuable à des expositions concomitantes à d'autres solvants, en particulier le benzène. En conséquence, les effets pertinents pour l'identification d'une valeur de référence pour la protection de la population générale sont les effets à seuil des xylènes. L'ensemble de ces effets a été observé à des niveaux d'exposition professionnelle bien supérieurs aux expositions environnementales mesurées chez les riverains. Pour des expositions chroniques à plus faibles doses, des études expérimentales ont établi que le système nerveux central était l'organe cible. Cependant, la plus petite valeur toxicologique de référence déclinée pour protéger l'homme de la survenue de ces effets à seuil est la Reference concentration (RfC) fixée à 100 µg/m³ par l'US EPA. Cette valeur a été construite à partir du No Observed Adverse Health Effects Level (NOAEL), niveau en dessous duquel on n'a jamais observé les effets toxiques étudiés, établi à 39 mg/m³ (soit 39 000 µg/m³) à partir d'une étude expérimentale conduite sur des rats, laquelle a été divisée par un facteur de sécurité de 300. Ce facteur se décompose en un facteur de 3 pour l'extrapolation inter-espèce animal-homme, un facteur de 10 pour la différence de sensibilité intra-espèce, un facteur de 3 pour passer de l'exposition subchronique à l'exposition chronique et enfin un facteur de 3 pour tenir compte de l'incertitude entourant les données.

4.3.1.3 L'éthylbenzène

L'inhalation répétée de concentrations d'éthylbenzène supérieures à 100 ppm (441 mg/m³ soit 441 000 µg/m³) a été associée à une asthénie, des céphalées, des irritations des yeux et des voies respiratoires [12]. Des anomalies neurologiques fonctionnelles (syndrome psycho-organique) ont été constatées chez des salariés exposés à des mélanges de solvants dont l'éthylbenzène, ce type d'effet étant par ailleurs communs aux solvants. Des études épidémiologiques ont rapporté des risques d'aggravation d'une insuffisance rénale préexistante et d'altérations fonctionnelles tubulaires ou glomérulaires associées à l'exposition professionnelle à des solvants organiques quelle qu'en soit la nature chimique. Des travaux expérimentaux indiquent une toxicité de l'éthylbenzène pour l'oreille interne chez le rat (mais pas chez le cobaye). On ne dispose pas d'information sur la toxicité auditive des xylènes chez l'homme. Expérimentalement, l'administration d'éthylbenzène pendant la gestation a produit des effets fœtotoxiques dans plusieurs espèces animales, mais en seulement à des doses toxiques pour les mères. D'assez nombreuses études épidémiologiques indiquent un excès de risque modéré, mais statistiquement significatif d'avortement ou de prématurité associé à l'exposition à des solvants organiques pendant la grossesse. L'Union européenne ne classe pas l'éthylbenzène parmi les substances toxiques pour la reproduction chez l'homme. L'ensemble de ces effets à seuil de dose ont été observés à des niveaux d'exposition professionnelle bien supérieurs aux expositions environnementales mesurées chez les riverains.

L'éthylbenzène n'est pas classé comme génotoxique pour l'homme.

L'administration répétée d'éthylbenzène a induit des tumeurs tubulaires rénales chez des rats mâles, des adénomes bronchiques chez des souris mâles et des adénomes hépatiques chez les souris femelles. Ces tumeurs étant considérées comme spécifiques des espèces dans lesquelles elles ont été observées, les experts européens n'ont pas classé l'éthylbenzène pour sa cancérogénicité. Pour les mêmes raisons l'IARC a classé l'éthylbenzène dans le groupe 2B des agents possiblement cancérogènes pour l'espèce humaine.

Ce sont donc les effets à seuil de dose de l'éthylbenzène qui sont pertinents pour l'identification de valeurs toxicologiques de référence pour la protection de la population générale. La plus petite valeur toxicologique de référence pour protéger l'homme de la survenue de ces effets à seuil (exposition chronique par inhalation) est celle proposée par l'ATSDR qui s'établit à 0,06 ppm (soit 260 µg/m³). Elle est dérivée d'une étude chez le rat qui montre la survenue d'effets rénaux à partir du Lowest Adverse

Effect Level (LOAEL), dose minimale produisant des effets, établi à 75,7 mg/m³. À ce LOAEL a été appliqué un facteur d'incertitude de 300, se décomposant en un facteur 10 pour l'utilisation d'un LOAEL au lieu d'un NOAEL, un facteur 10 pour tenir compte de la variabilité interindividuelle chez l'homme et un facteur 3 pour l'extrapolation de l'animal à l'homme.

4.3.1.4 Le toluène

De façon semblable aux xylènes et éthylbenzène, les études relatives aux effets systémiques (à seuil) du toluène chez l'homme par inhalation indiquent que les effets critiques sont neurotoxiques. En cas d'exposition aiguë chez l'homme, le toluène est irritant pour les yeux et les voies aériennes en cas d'exposition à des aérosols ou à des fortes concentrations de vapeurs. Il est dépresseur du système nerveux central, ce qui se traduit par un syndrome ébrieux, puis un coma, en cas d'exposition massive [20]. Les études réalisées en milieu professionnel montrent qu'une exposition chronique à des concentrations de toluène comprises entre 30 et 130 ppm (115 et 500 mg/m³) induisent entre autres des atteintes neurologiques comme l'altération du comportement, des potentiels évoqués auditifs et visuels, des paramètres électrophysiologiques, ou de la vision des couleurs. La majorité des études récentes, tant épidémiologiques qu'expérimentales, ne rapportent pas d'effet hématologique du toluène (la survenue d'effets hématologiques rapportée lors d'exposition professionnelle dans les études plus anciennes pouvant être attribuée à une coexposition au benzène). L'atteinte hépatique, constatée par certaines études en population professionnelle ou chez des sniffers de toluène, n'est pas clairement établie, et les résultats des études menées sur les rats ou les souris sont également contradictoires [21]. Les études épidémiologiques menées en population professionnellement exposées et les études expérimentales ne sont pas en faveur de la survenue d'atteinte rénale, même si dans certains cas d'expositions accidentelles ou chez les toxicomanes exposés à des concentrations plus élevées de toluène, ont été notés des dommages rénaux (oligurie), des dysfonctionnements urinaires (myoglobulinurie) et des acidoses.

D'assez nombreuses études épidémiologiques en milieu du travail indiquent un excès de risque modéré, mais statistiquement significatif d'avortement ou de prématurité associé à l'exposition à des solvants organiques pendant la grossesse. Cependant ces études ne sont pas corroborées par les études expérimentales. L'Union européenne classe cependant le toluène comme R2 (Substances suspectées d'être toxiques pour la reproduction humaine). Chez des femmes toxicomanes et des femmes exposées professionnellement à des doses élevées de toluène, des effets sur le développement du fœtus ont été observés, sans que l'imputabilité ait pu être attribuée au toluène.

Le toluène n'est pas classé comme génotoxique pour l'homme.

Les preuves de la cancérogénicité pour l'homme sont insuffisantes : le toluène a été classé dans le groupe 3 par l'IARC [9].

Ce sont donc les effets à seuil de dose du toluène qui sont pertinents pour l'identification de valeurs toxicologiques de référence pour la protection de la population générale vis-à-vis des effets d'une exposition chronique. La plus petite valeur toxicologique de référence pour protéger l'homme de la survenue de ces effets à seuil est celle proposée par l'ATSDR qui s'établit à 0,08 ppm (soit 300 µg/m³). Elle est dérivée d'une étude épidémiologique menée chez des travailleurs qui ont présenté des troubles de la vision des couleurs à partir de 35 ppm de toluène (35 ppm = 134,05 mg/m³). À ce LOAEL a été appliqué un facteur d'incertitude de 100 (10 pour l'utilisation d'un LOAEL au lieu d'un NOAEL, 10 pour tenir compte de la variabilité interindividuelle chez l'homme).

4.3.1.5 Effets spécifiques liés aux mélanges des différents hydrocarbures

Il convient de noter que si, selon l'étude de dangers produite ci-dessus substance par substance, il est peu probable de voir apparaître des symptômes neurologiques parmi les riverains liés à l'exposition aiguë aux hydrocarbures volatils, il n'est pas exclu que des gênes voire des troubles bénins tels que vomissements et maux de tête apparaissent en lien avec de possibles nuisances olfactives liées à la présence des divers hydrocarbures dans l'air intérieur.

4.3.2 Choix des traceurs de risque

Le choix des traceurs de risques parmi les substances détectées s'est basé sur deux critères :

- la comparaison des concentrations maximales avec les différentes valeurs repères (tableau 1), tant sur l'ampleur des dépassements des valeurs repères (ou le degré de proximité avec les valeurs réglementaires en milieu du travail) que sur le nombre de pavillons pour lesquels les valeurs repères sont dépassées ;
- la gravité des effets attendus : nature des effets attendus, relations dose-effet pour les effets à seuil (les effets à seuil sont-ils susceptibles de survenir aux niveaux d'exposition mesurés chez les riverains ?), classement de la substance vis-à-vis de sa cancérogénicité et génotoxicité pour l'homme.

Selon cette hiérarchisation, le benzène est la substance pour laquelle l'exposition des riverains est la plus préoccupante tant par les ratios entre les concentrations maximales détectées dans les pavillons et les différentes valeurs repères, que par sa génotoxicité et sa cancérogénicité avérée pour l'homme. Le benzène est retenu comme traceur de risque.

Le 2^e rang est occupé par les xylènes. Les concentrations de xylènes mesurées dans les 21 pavillons au cours de la période de surveillance [max : 339,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, moyenne : 99,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$] sont proches de la valeur toxicologique de référence la plus basse pour les effets à seuil (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ou la dépassent. Cependant, la probabilité de survenue de ce type d'effet chez les riverains du site reste très faible compte tenu du mode de construction de cette valeur de référence et en particulier des facteurs de sécurité qui entourent la construction de cette valeur. En conclusion, au regard des niveaux d'exposition de xylènes mesurés parmi les riverains du site et en l'absence d'indication quant à la génotoxicité et cancérogénicité pour l'homme, les xylènes ne sont pas retenus comme traceur de risque.

Le 3^e rang est occupé par l'éthylbenzène. Les concentrations d'éthylbenzène mesurées dans les pavillons des riverains du site (min = 1,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, max = 110,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) n'ont jamais dépassé la valeur toxicologique de référence pertinente pour les effets à seuil de l'éthylbenzène par inhalation (260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Il n'est donc pas attendu d'apparition d'effet à seuil aux niveaux d'exposition tels que ceux mesurés parmi les riverains du site. L'éthylbenzène n'est par ailleurs ni génotoxique ni classé comme cancérogène pour l'homme. Il n'est donc pas retenu comme traceur de risque.

Le 4^e rang est occupé par le toluène : Les concentrations de toluène mesurées dans les pavillons des riverains du site n'ont pas dépassé la valeur toxicologique de référence (VTR) pertinente (300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) pour 20 des 21 maisons, et il n'est donc pas attendu la survenue d'effets adverses liés à l'exposition au toluène pour les riverains. Pour une maison, la concentration maximale détectée (509,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) a dépassé cette VTR. Cependant, la probabilité de survenue des effets du toluène chez les occupants de ce pavillon reste très faible compte tenu du mode de construction de la valeur de référence et en particulier des facteurs de sécurité (facteur 100) qui entourent la construction de cette valeur. Le toluène n'est par ailleurs ni génotoxique ni classé comme cancérogène pour l'homme. Il n'est donc pas retenu comme traceur de risque.

In fine, seul le benzène est retenu comme traceur de risque, au regard des concentrations détectées dans les pavillons, de sa génotoxicité et de sa cancérogénicité avérée pour l'homme. Toute action visant à réduire les expositions vis-à-vis du benzène aura un effet nécessairement bénéfique sur les autres hydrocarbures volatils.

4.3.3 Populations sensibles au benzène

Le benzène passe très bien la barrière placentaire mais les effets sur le développement du fœtus ont été peu étudiés chez l'Homme. D'une manière générale l'exposition aux solvants pendant la grossesse est déconseillée. En particulier, selon l'article D4152-10 du code du travail, les femmes

enceintes ou allaitantes ne peuvent être affectées ou maintenues à des postes les exposant au benzène, de même que les jeunes travailleurs de moins de 18 ans (article D4153-27).

Selon l'Afsset [5], les jeunes enfants devraient présenter une susceptibilité plus grande par rapport aux adultes face à l'inhalation de benzène car la fréquence respiratoire ainsi que le pourcentage d'absorption est plus importante chez les jeunes enfants que chez les adultes. Cependant, les études disponibles chez l'homme et chez l'animal n'ont pas montré de susceptibilité en fonction de l'âge.

Enfin d'autres populations peuvent être considérées comme sensibles au benzène [5], selon leur patrimoine génétique, l'âge, la santé et le statut nutritionnel. Aux niveaux d'expositions rencontrées en environnement général, il n'y a pas d'argument en faveur d'une forte variabilité génétique de la sensibilité d'un individu à l'autre [17]. Certaines personnes consommant des médicaments qui induisent une réduction de la fonction de la moelle osseuse peuvent être plus sensibles à une exposition au benzène. L'éthanol peut augmenter la sévérité de l'anémie, de la lymphopénie et de la réduction cellulaire de la moelle osseuse induite par le benzène. L'effet synergique sur le système hématopoïétique entre le benzène et l'éthanol concerne particulièrement les personnes exposées au benzène et consommant de l'alcool. Des différences de susceptibilité face au benzène en fonction du sexe ont été mises en évidence chez les animaux (coefficient de partage sang/air pour le benzène plus élevé chez la femelle). Toutefois, la différence de susceptibilité face au benzène en fonction du sexe n'a pas été mise en évidence par les études menées chez les travailleurs.

4.4 Quantification des risques : risque de survenue d'effets toxiques du benzène dans la population exposée

Pour les riverains du site industriel dans le Val-d'Oise exposés au benzène, la Cire IdF-CA a évalué le risque de survenue des effets à seuil et sans seuil du benzène, pour deux scénarii d'exposition : le premier reflétant l'exposition moyenne des riverains du site (scénario « moyen »), la seconde reflétant la situation la plus défavorable (scénario « maximal »).

4.4.1 Paramètres retenus

Budget espace-temps : exposition continue dans les locaux impactés, 24H/24, 7j/j.

Durée d'exposition (Texpo) : 70 ans (vie entière) selon une approche majorante (Texpo = Tvie).

Concentrations dans l'air ambiant des pavillons :

- **scénario « moyen »** : moyenne des « concentrations maximales de benzène » détectées dans chacun des 21 pavillons depuis le début de la surveillance (cf. tableau 1) : $C_{moy} = 12,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- **scénario « maximal »** : maximum des « concentrations maximales de benzène » détectées dans chacun des 21 pavillons depuis le début de la surveillance (cf. tableau 1) : $C_{max} = 50,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Compte tenu du budget espace-temps retenu, la concentration d'inhalation (CI) est égale la concentration dans l'air ambiant mesurée dans le pavillon (C_{moy} pour le scénario moyen, C_{max} pour le scénario maximal).

Cibles : enfant, adulte (le calcul étant identique pour les 2 cibles car le poids corporel ne figure pas dans l'équation).

VTR retenues :

- pour les effets à seuil du benzène : valeur toxicologique à seuil la plus basse, proposée par ATSDR en 2007, à savoir MRL = 0,003 ppm soit $9,75 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- pour les effets cancérigènes du benzène (leucémies) : la valeur toxicologique de référence proposée par l'Afsset en 2008 correspond à un ERU de 6.10^{-6} par $\mu\text{g}.\text{m}^{-3}$; elle est semblable ou proche de celles faites par divers organismes internationaux, en particulier l'OMS en 2000, le Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RiVM) et l'US-EPA. En 2014, l'Anses [19], agence nationale chargée de construire des VTR applicables en France, a fait une nouvelle proposition résultant d'une nouvelle modélisation des données issues de la cohorte Pliofilm ; elle aboutit à une proposition de valeur de référence plus contraignante de $0,38 \mu\text{g}/\text{m}^3$, correspondant à un excès de risque cancérigène de 10^{-5} pour une exposition vie entière et à un ERU de $2,6.10^{-5} (\mu\text{g}.\text{m}^{-3})^{-1}$. Les évaluations présentées ci-dessous prendront donc en compte successivement les deux propositions d'ERU.

Taille de la population exposée : par défaut 100 personnes, ce qui est maximaliste pour la situation étudiée (quelques dizaines de riverains exposés).

Équations utilisées :

- quotient de danger : $\text{QD} = \text{CI}/\text{VTR à seuil}$
- excès de risque individuel (ERI) : $\text{ERI} = \text{ERU} \times \text{CI} \times \text{Texpo}/\text{Tvie} = \text{ERU} \times \text{CI}$

Estimation du nombre d'hémopathies malignes attendues en population générale : au vu de l'étude de dangers, il a été retenu l'hypothèse que le benzène pouvait être impliqué dans la survenue des leucémies aiguës myéloïdes (LAM), des leucémies myéloïdes chroniques (LMC) et avec des niveaux de preuves moindres des Leucémies aiguës lymphoblastiques (LAL). Le nombre de cancers « normalement attendu » dans la communauté a donc été calculé pour ces 3 types de cancers, à partir des estimations nationales de l'incidence des leucémies aiguës (LA, regroupant les LAL et LAM) en France en 2005 [15] d'une part, et des estimations nationales de l'incidence des LMC en France en 2012 [16] d'autre part, respectivement pour l'homme et pour la femme.

- Leucémies aiguës (2005) :
 - o incidence Homme (taux standardisés Monde) : 4,5 cas pour 100 000 personnes années ;
 - o Incidence Femmes (taux standardisés Monde) : 3,5 cas pour 100 000 personnes années.
- Leucémies myéloïdes chroniques (2012) :
 - o Incidence Homme (taux standardisés Monde) : 1 cas pour 100 000 personnes années ;
 - o Incidence Femme (taux standardisés Monde) : 0,6 cas pour 100 000 personnes années.

Les résultats du calcul sont synthétisés dans le tableau 2 ci-après.

4.4.2 Résultat pour le scénario « moyen »

Pour les effets à seuil : $\text{QD} = 1,30$. Ce quotient de danger est légèrement supérieur à 1.

Pour les effets sans seuil : $\text{ERI} = 3,3.10^{-4}$ sur la base de l'ERU préconisé par l'Anses, et $\text{ERI} = 7,62.10^{-5}$ sur la base de l'ERU retenu par l'OMS. Dans les deux cas, cet excès de risque individuel est dans le domaine des risques inacceptables ($\text{ERI} > 10^{-5}$). Il correspond à un nombre d'hémopathies malignes excédentaire possiblement lié au benzène estimé de 0,007 à 0,033 (selon l'ERU considéré) si la communauté de 100 personnes exposées, composée d'autant d'hommes que de femmes, restait exposée pendant 70 ans à la moyenne des « concentrations maximales détectées dans chaque logement depuis le début de la surveillance ».

Or, au regard de l'incidence des hémopathies malignes en population générale [15;16], on s'attend à observer sur 70 ans dans une communauté de 100 personnes non exposées la survenue de 0,34 cas d'hémopathies malignes (soit 1 cas au plus).

Pour le scénario « moyen », le sur-risque de LA et LMC possiblement lié à l'exposition au benzène est donc négligeable alors même qu'il a été calculé avec des hypothèses maximalistes par rapport à la présence sur le site.

I Tableau 2 I

Estimation des risques sanitaires associés à l'exposition au benzène et comparaison avec le nombre de cancers attendus dans la communauté

| Exposition environnementale au benzène, Val-d'Oise | | | |
|--|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Paramètres | Unité | Scénario maximal | Scénario moyen |
| Hypothèse 1 : utilisation de l'ERU de l'Anses | | | |
| Concentration d'inhalation (CI) | µg/m ³ | 50,4 | 12,7 |
| VTR à seuil | µg/m ³ | 9,75 | 9,75 |
| VTR sans seuil = ERU de l'Anses | (µg/m ³) ⁻¹ | 2,60E-05 | 2,60E-05 |
| Quotient danger (QD) | sans unité | 5,17 | 1,30 |
| Exces risque individuel (ERI) | sans unité | 1,31E-03 | 3,30E-04 |
| Nb de cancer (K) excédentaire pour 100 personnes exposées (50 hommes, 50 femmes) | sans unité soit : | 1,31E-01 0,130000 | 3,30E-02 0,033000 |
| Hypothèse 2 : utilisation de l'ERU de l'OMS | | | |
| Concentration d'inhalation (CI) | µg/m ³ | 50,4 | 12,7 |
| VTR à seuil | µg/m ³ | 9,75 | 9,75 |
| VTR sans seuil = ERU de l'OMS | (µg/m ³) ⁻¹ | 6,00E-06 | 6,00E-06 |
| Quotient danger (QD) | sans unité | 5,17 | 1,30 |
| Exces risque individuel (ERI) | sans unité | 3,02E-04 | 7,62E-05 |
| Nb de cancer (K) excédentaire pour 100 personnes exposées (50 hommes, 50 femmes) | sans unité soit : | 3,02E-02 0,030240 | 7,62E-03 0,007620 |
| Nombre de cancers normalement attendus dans cette population sous hypothèse H/F = 1 et sur 70 ans | | | |
| Leucémies aiguës (LA) | | | |
| Taux incidence Homme, 2005 | personne.année | 4,5/100 000 | 4,5/100 000 |
| Taux incidence Femme, 2005 | personne.année | 3,5/100 000 | 3,5/100 000 |
| Nb LA attendu | sans unité | 0,28 | 0,28 |
| leucémie myéloïde chronique (LMC) | | | |
| Taux incidence Homme, 2012 | personne.année | 1/100 000 | 1/100 000 |
| Taux incidence Femme, 2012 | personne.année | 0,6/100 000 | 0,6/100 000 |
| Nb LMC attendu | sans unité | 0,056 | 0,056 |
| Nombre hémopathies malignes attendu pour 100 personnes non exposées | sans unité | 0,336000 | 0,336000 |

4.4.3 Résultat des calculs pour le scénario « maximal »

Pour les effets à seuil : QD = 5,17. Ce quotient de danger supérieur à 1 est dans le domaine des risques inacceptables (QD >1).

Pour les effets sans seuil : ERI = $1,31 \cdot 10^{-3}$ sur la base de l'ERU préconisé par l'Anses, et ERI = $3,02 \cdot 10^{-4}$ sur la base de l'ERU retenu par l'OMS. Dans les deux cas cet excès de risque individuel est dans le domaine des risques inacceptables (ERI > 10^{-5}). Il correspond à un nombre d'hémopathies malignes excédentaire possiblement lié au benzène estimé de 0,03 à 0,13 (selon l'ERU considéré) si la communauté de 100 personnes exposées, composée d'autant d'hommes que de femmes, restait exposée pendant 70 ans à la concentration maximale détectée dans les logements (toutes campagnes de mesure confondues depuis le début de la surveillance).

Or, au regard de l'incidence des hémopathies malignes en population générale [15;16], on s'attend à observer sur 70 ans dans une communauté de 100 personnes non exposées la survenue de 0,34 cas d'hémopathies malignes (soit 1 cas au plus).

Pour le scénario maximaliste, le sur-risque de cancer lié à l'exposition au benzène reste donc faible alors même qu'il a été calculé avec des hypothèses maximalistes par rapport à la présence sur le site et aux niveaux de concentration auxquels les personnes ont été exposées.

4.5 État de l'art sur les biomarqueurs du benzène

La décision de proposer le dosage de biomarqueurs aux populations exposées à concentrations environnementales dépend de nombreux paramètres [14] : les concentrations mesurées dans les lieux de vie et le « temps de contact » avec les personnes exposées (budget espace-temps), la faisabilité technique du dosage des biomarqueurs à ce niveau d'exposition, le degré de corrélation entre le résultat du dosage du biomarqueur et les concentrations d'exposition, la demi-vie du biomarqueur qui reflétera une exposition ancienne ou récente, le bénéfice individuel et collectif attendu de ces dosages (possibilité d'interprétation du résultat ? Traduction du résultat en termes d'impact sur la santé ?).

On distingue deux principaux types de biomarqueurs : les biomarqueurs d'exposition représentant la concentration de la substance (ou de ses métabolites) dans différents compartiments de l'organisme (sang, urines, lait, cheveux, air expiré...) et les biomarqueurs d'effets précoces (altération de l'ADN, activités enzymatiques, niveaux d'hormones...) possiblement liés à la toxicité de la substance.

4.5.1 Biomarqueurs d'exposition du benzène

Pour la surveillance des expositions professionnelles au benzène, plusieurs biomarqueurs d'exposition sont utilisables selon la base de données Biotox : le benzène sanguin, le benzène urinaire, l'acide trans,trans muconique urinaire et l'acide S-phenylmercapturique urinaire.

Ces deux derniers biomarqueurs ne sont pas suffisamment sensibles pour être pertinents dans le cas de doses d'exposition de quelques dizaines de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ telles que celles relevant des expositions environnementales.

Le dosage du benzène sanguin est un indicateur sensible et spécifique, bien corrélé à l'intensité de l'exposition. Il reflète l'exposition récente. Il existe des données de référence en population non professionnellement exposée, pour qui des taux de benzène sanguin inférieurs à 500 ng/L chez les fumeurs et inférieurs à 250 ng/L chez les non-fumeurs sont le plus souvent retrouvés.

Le dosage du benzène dans les urines est un bon indicateur d'une exposition récente, spécifique de l'exposition au benzène. Dans la population générale, les individus qui ne fument pas ont

généralement une concentration urinaire de benzène inférieure à 300 ng/L ; elle est habituellement inférieure à 500 ng/L, chez les fumeurs. Une bonne corrélation existe avec les concentrations atmosphériques, même pour de faibles expositions.

Si le dosage du benzène urinaire et, dans une moindre mesure du benzène sanguin, semble intéressant pour des niveaux d'exposition environnementale, ce dosage est techniquement difficile en raison de risque de contamination de l'échantillon au moment du prélèvement puis de l'analyse. L'interprétation des dosages reste surtout délicate en raison de possibles facteurs de confusion, comme le tabagisme et la consommation alcool, ainsi que de l'absence de possibilité de « traduction » du résultat en termes sanitaires.

Selon le CAPTV de Paris, en France un seul laboratoire situé à Nantes présenterait des limites de quantification potentiellement assez basses pour mesurer de faibles doses de benzène urinaire ou sanguin, mais ceci reste à vérifier. Dans tous les cas, il apparaît que le dosage de ces faibles doses n'est pas encore une procédure de routine pour la plupart des laboratoires d'analyses toxicologiques.

En conclusion, s'il semble possible théoriquement de doser le benzène urinaire, voire sanguin, chez les riverains des sites pollués, ce dosage se heurte d'une part à une difficulté d'interprétation (absence de valeurs de référence en population générale, absence de traduction du résultat en termes d'effet sanitaire, facteurs de confusion, risque de contamination de l'échantillon) et à une difficulté technique liée au très faible nombre, voire inexistence, de laboratoires susceptible de réaliser ces dosages.

4.5.2 Indicateurs biologiques d'effets précoces du benzène

Un hémogramme numération formule sanguine (NFS) peut être envisagé, à la recherche d'altérations possiblement liées aux effets du benzène, mais les altérations de l'hémogramme, quand elles sont imputables au benzène, résultent d'une atteinte de la moelle osseuse et elles apparaissent tardivement : on ne peut les considérer comme des effets précoces. Le suivi régulier de l'hémogramme peut présenter un intérêt pour la personne exposée [18], compte tenu des possibilités de traitement des leucémies et de leur bon pronostic après traitement (70 % pour les LAM), ainsi que de la bonne tolérance et du faible coût de ce suivi biologique. Cependant, il existe une difficulté pour associer la variation de la NFS avec les concentrations atmosphériques de benzène pour plusieurs raisons [17] : (i) les variations physiologiques normales (non pathologiques) des comptes des éléments figurés du sang sont d'amplitudes importantes, et (ii) les variations observées peuvent être la conséquence d'autres pathologies sans lien avec l'exposition au benzène. Enfin, l'éventuel suivi de l'hémogramme serait à inscrire dans une durée de 10 ans au moins, compte tenu des temps de latence possibles entre l'exposition au benzène et la survenue de leucémie [18].

4.6 Retour d'expérience sur des situations d'exposition environnementale au benzène

À notre connaissance deux situations d'exposition chronique et environnementale au benzène ont été traitées par les Cire en appui aux ARS de leur région : l'une en Seine-Maritime, l'autre dans le Val-de-Marne.

Les concentrations détectées dans les milieux de vie des riverains et les décisions sanitaires prises à l'issue de l'évaluation des risques sont présentées en annexe 1.

4.7 Investigations complémentaires à mettre en œuvre

Dans les documents communiqués à la Cire IdF-CA, l'identification de l'ensemble des usages potentiels sur la zone polluée n'est pas précisée. En particulier il n'est pas fait mention de la présence éventuelle de potagers ou de puits privés, ni d'une éventuelle vérification de la qualité d'eau potable.

La proximité du collège par rapport au site justifierait également de se poser la question de l'étendue du panache de pollution sous cet établissement sensible.

Cependant, ces informations ont selon toute vraisemblance été vérifiées par l'ARS-DT95 et la DRIEE-Unité territoriale du Val-d'Oise au cours des investigations précédentes.

5. Conclusions et recommandations

- 1) Sur la base des résultats des campagnes de mesures réalisées dans les logements, l'évaluation des expositions réalisée par la Cire IdF-CA confirme que les riverains du site industriel situé dans le Val-d'Oise sont exposés de façon chronique (depuis une dizaine d'années) à des niveaux élevés d'hydrocarbures. Le benzène est retenu comme marqueur de ces expositions, du fait de sa toxicité élevée (cancérogénicité avérée pour l'homme impliquant la survenue de leucémie, génotoxicité, effet dépresseur médullaire) et des ratios calculés entre les concentrations maximales de benzène détectées dans les pavillons et les différentes valeurs repères disponibles (OQAI, valeurs guides OMS ou Anses, valeurs réglementaires, valeurs en milieu du travail). Il convient de garder à l'esprit que toute action visant à réduire les expositions au benzène aura aussi un effet bénéfique sur les niveaux d'exposition aux autres hydrocarbures volatils.
- 2) Au niveau d'exposition environnementale mis en évidence chez ces riverains, les effets d'une exposition chronique au benzène dont il faudrait protéger les riverains seraient une augmentation du risque d'hémopathies malignes. Une évaluation quantitative des risques sanitaires a été réalisée en considérant que la communauté se composait de 100 personnes exposées avec autant d'hommes que de femmes, et que toutes les personnes restaient exposées au benzène toute leur vie durant (70 ans) et 24H/24. Deux scénarii d'exposition ont été considérés selon la concentration de benzène prise en compte dans l'air intérieur : un scénario « moyen » basé sur la concentration de benzène de $12,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ correspondant à la moyenne des concentrations maximales détectées dans chaque pavillon depuis le début de la surveillance, et un scénario « maximal » basé sur la concentration de benzène de $50,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ correspondant au maximum relevé dans les pavillons depuis le début de la surveillance. Le calcul des risques cancérogènes a été fait pour deux valeurs toxicologiques de référence : l'ERU le plus récent ($2,6 \cdot 10^{-5} (\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})^{-1}$) recommandée en France par l'Anses en 2014, et l'ERU plus ancien ($6 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})^{-1}$) recommandé par l'OMS en 2000 et la plupart des agences d'expertise à l'étranger. Pour les effets à seuil, les quotients de danger calculés sont respectivement de 1,30 et 5,17 tandis que les excès de risque individuels se situent entre $7,62 \cdot 10^{-5}$ et $1,31 \cdot 10^{-3}$ selon le scénario pris en compte. En termes d'impact sanitaire, le nombre de leucémies aiguës et leucémies myéloïdes chroniques excédentaires possiblement lié à l'exposition au benzène se situerait entre 0,007 à 0,033 pour le scénario « moyen », et entre 0,03 et 0,13 pour le scénario « maximal » selon l'ERU pris en compte. Comparé au nombre d'hémopathies malignes « normalement attendu » dans cette communauté et estimé à 0,34 selon les incidences en population générale, ce sur-risque reste donc très faible. En tout état de cause, le net dépassement des niveaux de risques acceptables ($\text{QD} = 1$ et $\text{ERI} = 1 \cdot 10^{-5}$) pour les deux scénarii d'exposition (moyen, maximal) appelle des actions correctrices telles que celles prévues par la politique nationale en matière de sites et sols pollués, et en priorité **la réduction rapide des expositions**.
- 3) L'exposition individuelle pourrait être suivie au moyen d'un indicateur biologique (benzène urinaire en particulier), mais en l'état actuel des connaissances et pour les niveaux d'exposition mesurés pour la situation étudiée dans le Val-d'Oise, ces dosages se heurteraient d'une part à une difficulté d'interprétation et d'autre part à une difficulté technique liée au très faible nombre, voire l'inexistence, de laboratoires en capacité de réaliser ces dosages.
- 4) La réalisation d'exams médicaux (NFS) visant à rechercher des altérations possiblement liées aux effets précoces du benzène peut être discutée. S'agissant de certaines leucémies, un tel examen présente un intérêt thérapeutique (possibilités de traitement et bon pronostic après traitement). Toutefois, il convient de rappeler : 1) que le sur-risque de survenue de ces leucémies liées à l'exposition reste très faible dans la situation investiguée ici et alors que des hypothèses maximalistes ont prévalu au calcul de ce sur-risque ; 2) que les modifications de l'hémogramme ne sont pas des effets précoces du benzène ; 3) et qu'elles ne sont pas non plus des effets

spécifiques du benzène. Dans le cas où ce type d'effet serait détecté, il ne pourrait être établi de certitude sur le lien de causalité avec l'exposition environnementale au benzène. Il existe par ailleurs très peu de retours d'expérience sur le type de réponse médicale apportée dans des situations similaires. Sur les 2 exemples rapportés en annexe à Petit-Couronne (76) et dans le Val-de-Marne (94) et pour lesquels les niveaux d'exposition étaient sensiblement supérieurs à ceux mesurés dans le Val-d'Oise, les ARS concernées ont organisé, sur les conseils de comités d'experts, une information circonstanciée des personnes exposées et de leurs médecins traitants, en vue d'un suivi annuel de la NFS. Pour Petit-Couronne, un bilan de ce dispositif était prévu à 2 ans ; pour la commune du Val-de-Marne ce suivi devait d'emblée s'inscrire dans une durée de 10 ans mais le bilan de l'efficacité de ces dispositifs reste à faire ou n'est pas communiqué. À l'instar de ces 2 expériences issues de recommandations de comités d'experts réunis localement, une information des médecins traitants, sur la commune concernée du Val-d'Oise, pourrait être proposée, afin de permettre à ces praticiens d'évaluer, au cas par cas, l'intérêt d'une NFS pour leurs patients. Il pourrait être proposé, en complément et/ou soutien du médecin traitant, que ces personnes puissent bénéficier d'une consultation toxicologique afin de recevoir des informations circonstanciées sur les dangers du benzène et ses relations dose-effet, associée à une évaluation personnalisée des risques. Les riverains pourraient être destinataires d'un document synthétisant les données disponibles propres à assurer la traçabilité de leur exposition. La répétition des campagnes d'évaluation des expositions impliquerait la mise à jour parallèle de ce document. De même, à l'issue de toute consultation toxicologique motivée par l'exposition environnementale au benzène, l'intéressé pourrait être destinataire d'un compte-rendu de cette consultation, avec un rappel synthétique des informations délivrées et le cas échéant, une synthèse commentée des résultats des investigations conduites. Ces propositions, discutées préalablement avec le CAPTV de Paris, pourraient être soumises à débat auprès d'un comité d'experts réunis par l'ARS Ile-de-France regroupant toxicologues et hématologues.

Références bibliographiques

- [1] Décret 2011-1727 du 2 décembre 2011 relatif aux valeurs-guides pour l'air intérieur pour le formaldéhyde et le benzène.
- [2] Avis du Haut conseil de la santé publique relatif à la fixation de valeurs repères d'aide à la gestion pour le benzène dans l'air des espaces clos. 16 juin 2010. 3 p. Consultable sur : www.hcsp.fr.
- [3] Air quality guidelines for Europe. Second Edition. 2000. World Health Organization. 288 p. Consultable sur : www.who.int.
- [4] Valeurs guides pour la qualité de l'air intérieur. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. Consultable sur www.anses.fr.
- [5] Valeur guide pour l'air intérieur. Le Benzène. Avis de l'AFSSET. Rapport de l'expertise collective. 88 pages. Janvier 2008.
- [6] Kirchner S, *et al.* Observatoire de la qualité de l'air intérieur – Campagne nationale logements- État de la qualité de l'air dans les logements français – Rapport final. Nov 2006 mise à jour Mai 2007. CSTB.
- [7] Valeurs limites d'exposition professionnelles aux agents chimiques en France. ED 984, aide-mémoire technique. 32 p. Juillet 2012. Institut national de recherche et de sécurité. Consultable sur : www.inrs.fr.
- [8] Mélange de vapeurs d'hydrocarbures C6 à C12. Fiche 055/V01.01. 9 pages. 2009. Institut national de recherche et de sécurité. Consultable sur : www.inrs.fr.
- [9] International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Consultable sur : <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/index.php>.
- [10] INRS. Fiche toxicologique Benzène. FT 49. 11 p. 2011. Consultable sur : www.inrs.fr.
- [11] INRS. Fiche toxicologique Xylènes. FT 77. 10 p. 2009. Consultable sur : www.inrs.fr.
- [12] INRS. Fiche toxicologique Ethylbenzène. FT 266. 9 p. 2011. Consultable sur : www.inrs.fr.
- [13] Brosselin P, Rudant J, Orsi L, Leverger G, Baruchel A, Bertrand Y, *et al.* Acute childhood leukaemia and residence next to petrol stations and automotive repair garages: the ESCALE study (SFCE). *Occup. Environ. Med.* 2009;66;598-606; originally published online 12 Feb 2009.

- [14] Dor F, Fréry N, *et al.* Utilisation des biomarqueurs dans les situations de pollution locale. Aide méthodologique. Saint Maurice : Institut de veille sanitaire ; 2012. 61p. Consultable sur : <http://www.invs.sante.fr>.
- [15] Bélot A, Velten M, Grosclaude P, Bossard N, Launoy G, Remontet L, *et al.* Estimation nationale de l'incidence et de la mortalité par cancer en France entre 1980 et 2005. Saint-Maurice (Fra): Institut de veille sanitaire, décembre 2008,132 p. Consultable sur : www.invs.sante.fr.
- [16] Monnereau A, Remontet L, Maynadié M, Binder-Foucard F, Belot A, Troussard X, Bossard N. Estimation nationale de l'incidence des cancers en France entre 1980 et 2012. Partie 2 – Hémopathies malignes. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire ; 2013. 88 p. Consultable sur : www.invs.sante.fr.
- [17] Petit L, Dor F, Martin E, Le Bouard J. Démarche de santé publique dans un contexte de fortes concentrations de gaz toxiques en environnement intérieur - le cas du benzène à Petit-Couronne (Seine-Maritime). Bulletin de veille sanitaire. BVS n° 4. Octobre 2011. Cire Normandie. Consultable sur : www.invs.sante.fr.
- [18] Cire Ile-de-France - Champagne-Ardenne. Expertise des risques sanitaires pour des riverains de Champigny-sur-Marne exposés à de fortes concentrations de benzène et autres hydrocarbures volatils à proximité d'une station-service. Compte rendu de la réunion téléphonique du 25 juin 2010 associant Pr André Baruchel, chef du service Immuno-hématologie pédiatrique à l'hôpital Robert Debré, Dr Jacqueline Clavel, responsable du registre national des hémopathies de l'enfant (Inserm), Dr Garnier, responsable du Centre antipoison et de toxicovigilance de Paris et responsable de la consultation de pathologies professionnelles et environnementales de l'hôpital Fernand Widal (Paris) et Dr Nisse, service de Pathologie professionnelle et environnement du CHRU Lille (document interne).
- [19] Valeur toxicologique de référence cancérogène par inhalation pour le benzène. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. 116 p. Juillet 2014.
- [20] INRS. Fiche toxicologique Xylènes. FT 74. 11 p. 2012 Consultable sur www.inrs.fr
- [21] Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 2000. Toxicological profile for Toluene. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.

Annexe 1 : présentation des investigations sur Petit-Couronne (76) et dans une commune du Val-de-Marne (94)

Quartier de Petit-Couronne, Haute-Normandie, 2008-2011

À Petit-Couronne, commune de l'agglomération rouennaise (Seine-Maritime), l'aquifère souterrain était pollué par les hydrocarbures. Cette pollution était liée à une fuite historique sur le réseau de canalisations enterrées de la raffinerie située sur la commune. Il s'agissait d'un déversement continu, non détectable par les compteurs installés sur les canalisations, mais qui a duré plusieurs années, vraisemblablement depuis le milieu des années 1980. Les concentrations de benzène détectées dans 5 bâtiments s'échelonnaient de 13 à 310 µg/m³.

En appui de la Direction départementale des affaires sanitaires et sociales (DDASS), une cellule d'aide à la décision, associant des appartenances institutionnelles ou publiques (Cellule de l'Institut de veille sanitaire (InVS) en région (Cire), Centre antipoison et de toxicovigilance (CAPTV), Département santé environnement (DES) de l'InVS) et une expertise pluridisciplinaire regroupant ingénieurs, médecins spécialistes, épidémiologistes, évaluateurs de risques, métrologistes, toxicologues a été mise en place. L'analyse conduite en 2010 par cette cellule [16] a conclu que la quantification d'un excès de risque sanitaire par une évaluation quantitative des risques sanitaires n'était pas réalisable, ni la mise en place d'un dépistage de la leucémie et des myélomes multiples faute de test fiable et reproductible. La mise en place d'un dispositif de surveillance de la population exposée à l'aide de biomarqueurs d'exposition ou d'effets ne pouvait être envisagée dans le contexte local. Une prise en charge médicale individuelle a été favorisée, reposant sur l'incitation des personnes exposées à consulter leur médecin traitant pour un bilan hématologique et immunologique, sur l'organisation par l'ARS de la mobilisation et du dialogue avec les médecins généralistes locaux, et sur la concertation avec les médecins de spécialité notamment hématologiques afin de s'assurer d'une cohérence dans les diverses interventions médicales. Un bilan à 2 ans était prévu. Dans ce schéma la décision d'analyser l'opportunité de proposer des examens médicaux complémentaires reposait sur le médecin traitant après prise en compte des antécédents médicaux de la personne, de facteurs de risque individuels et du bénéfice attendu.

Commune du Val-de-Marne, Ile-de-France, 2010

En mars 2009, des riverains d'un quartier pavillonnaire signalaient à la mairie la présence de fortes odeurs d'hydrocarbures dans leur pavillon, donnant lieu à des campagnes de mesures de l'air intérieur par le Laboratoire central de la préfecture de police de Paris à compter d'avril 2010. Celles-ci révélaient de fortes concentrations intérieures à divers hydrocarbures (BTEX, alcanes, naphthalène, 124 TMB...) dont le profil évoquait l'essence. La DDASS était saisie, puis la Cire IdF-CA pour un appui à l'évaluation des risques sanitaires. Les investigations diligentées par les services de la préfecture identifiaient la source de pollution comme une fuite d'une cuve d'essence enterrée dans la station-service à proximité, remobilisée probablement à l'occasion de travaux sur la voirie en 2009. Les vapeurs d'essence étaient transférées dans les logements via le réseau d'eaux usées. Une quarantaine de personnes exposées ont été identifiées parmi lesquels des nourrissons.

Le marqueur de l'exposition était le benzène, avec des concentrations moyennes hebdomadaires mesurées pouvant atteindre 910 µg/m³ dans les pièces de vie des riverains. D'importantes fluctuations des résultats dans le temps, et la saturation ponctuelle d'appareil de mesure laissaient craindre que les riverains pussent être exposés à des pics d'exposition dépassant cette valeur. La Cire IdF-CA a piloté une expertise sanitaire associant le chef du service Immuno-hématologie pédiatrique de l'hôpital Robert Debré (Paris), le chef du service d'hématologie clinique de l'hôpital d'Avicenne (Bobigny), la responsable du registre national des hémopathies de l'enfant (RNHE), le responsable du CAPTV de Paris et responsable de la consultation de pathologies professionnelles et environnementales de l'hôpital Fernand Widral (Paris) et un médecin toxicologue du service de Pathologie professionnelle et environnement du Centre hospitalier régional universitaire de Lille.

Pour ces experts, la durée et l'intensité de l'exposition au benzène, ainsi que la présence de nourrissons et d'enfants, rendaient la situation critique. De plus la réalisation d'une étude cas-témoin [13] menée en 2003-2004 par l'unité 1018 de l'Inserm sur la base du RNHE montrait un dédoublement du risque de leucémie (OR = 1,9, avec IC 1,2 à 3,0) pour les enfants vivant à proximité d'une station-service. Ce résultat suggérait que le rôle des expositions au benzène à faibles doses dans la survenue des leucémies aiguës de l'enfant devait faire l'objet d'évaluations complémentaires. Au vu de ces arguments, et malgré la baisse des expositions suite aux actions d'urgence mise en œuvre rapidement pour couper les voies de transfert, les experts ont estimé que la poursuite de l'exposition à des niveaux de benzène qui dépassait toujours les valeurs repères était inacceptable car elle s'ajoutait à 12 mois d'exposition élevée.

Après identification et information des populations exposées sur le quartier, il a été proposé :

- 1) la mise en place d'un suivi annuel du bilan hématologique (par NFS) pendant 10 ans, par le biais des médecins traitants préalablement informés de la situation, avec une double lecture des résultats par les médecins hospitaliers ;
- 2) l'organisation d'un relogement temporaire pour les personnes qui, après mise en place des mesures correctrices d'urgence (ventilation des pièces, condamnation des pièces les plus impactées, purge du réseau d'eaux usées...) restaient exposées :
 - a. à une concentration en benzène supérieure à $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
 - b. à une concentration en benzène comprise entre 5 et $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les familles avec des personnes sensibles (enfants et/ou femmes enceintes).

Deux familles étaient concernées mais ont refusé le relogement proposé.

L'ARS a mis au point avec les caisses primaires d'assurance maladie (CPAM) concernées des documents spécifiques pour la prise en charge et le suivi de ces familles dans le temps. À ce jour, le bilan de cette action (taux de perdus de vus, résultats médicaux...) reste à faire.

Exposition environnementale aux composés organiques volatils des riverains d'un ancien site industriel, Val-d'Oise (95)

Évaluation des risques sanitaires et appui à la décision sanitaire

Dans une commune du Val d'Oise, des riverains habitants à proximité d'un ancien site industriel sont exposés depuis plusieurs années à la présence de benzène et autres hydrocarbures légers présents dans l'air intérieur de leur pavillon. L'Agence régionale de santé (ARS) a sollicité la Cellule de l'Institut de veille sanitaire (InVS) en régions (Cire) Ile-de-France-Champagne-Ardenne pour évaluer les expositions et les risques sanitaires associés, et apporter des éléments d'aide à la décision pour juger de l'opportunité d'une prise en charge sanitaire individuelle ou collective des riverains.

Le benzène a été retenu comme traceur de risque. Aux concentrations détectées dans les lieux de vie (moyenne = 12,7 µg/m³, maximale = 50,4 µg/m³), les effets d'une exposition chronique seraient une augmentation du risque d'hémopathies malignes. Le sur-risque de survenue de cancer possiblement lié au benzène reste faible comparé au nombre d'hémopathies malignes normalement attendu en population générale. En revanche, les niveaux de risques sont clairement inacceptables au sens de la politique nationale des sites pollués, et justifient donc une réduction rapide des expositions.

Le suivi des expositions par le dosage de biomarqueurs du benzène se heurterait à des difficultés d'interprétation et à l'absence de laboratoires susceptibles de doser ces marqueurs aux doses environnementales. Si l'organisation d'un dépistage organisé des effets précoces du benzène (par numération formule sanguine) n'a pas été jugée pertinente, l'information des médecins exerçant sur la zone ainsi qu'une consultation toxicologique pour les personnes exposées ont été proposées à l'ARS.

Mots clés : benzène, pollution air intérieur, site pollué, EQRS

Environmental exposure of residents to volatile organic compounds (VOCs) near a polluted site, Val-d'Oise district

Health risks assessment and decision-making elements

In a suburban town in greater Paris area, people living near a polluted site have been exposed for many years to benzene and others VOCs detected in the indoor air of their house. The regional Health Authority (ARS) asked the regional Epidemiological unit (the local team of the French Institute for Public Health Surveillance (InVS)) to assess exposure and risks associated, and give some decision-making information on the opportunity of medical care or collective healthcare of inhabitants.

Benzene was selected as the risk marker. For these levels of benzene detected in those homes (minimal concentration = 12.7 µg/m³, maximal concentration = 50.4 µg/m³) health effects of chronic exposure would be an increased risk of hematological malignancies. Assuming a life-long exposure, the excess hematological malignancies represent a low-risk compared with the case expected in a non-exposed population. Nevertheless, this individual level of risk is clearly an "unacceptable risk" compared with the levels defined by the French legislation on polluted sites, and requires reducing exposure as soon as possible.

Exposure monitoring through the dosage of benzene biomarkers would be challenging in terms of interpretation and lack of laboratories suitable to dose these markers at environmental doses. Even though an organized screening of the early effects of benzene (using blood count) was not considered relevant, information to physicians practicing in the area and a toxicological consultation for people exposed were proposed to the Local Health Authority.

Citation suggérée :

Legout C, Trouillet M. Exposition environnementale aux composés organiques volatils des riverains d'un ancien site industriel, Val d'Oise (95). Evaluation des risques sanitaires et appui à la décision sanitaire. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire ; 2016. 24 p. Disponible à partir de l'URL : <http://www.invs.sante.fr>