

## 6 MISES À JOUR DE L'ÉVALUATION – SANTÉ HUMAINE

PR4.4.25

324

Projet Oléoduc Énergie Est de  
TransCanada – section québécoise

6211-18-018

L'évaluation de la santé humaine effectuée dans le cadre de l'évaluation environnementale et socioéconomique (EES) (volume 3, partie A, section 9; volume 3, partie B, section 9; volume 3, partie C, section 9; volume 4, partie A, section 19 et volume 4, partie B, section 19) a tenu compte des phases de construction et d'exploitation du projet et a indiqué que les effets potentiels des accidents et des événements non prévus sur la santé humaine devaient être évalués dans le cadre d'un addenda au volume 6. Le présent document décrit le travail accompli pour évaluer les effets sur la santé humaine associés aux déversements accidentels de pétrole brut dans l'environnement terrestre. Il s'applique aux tracés du pipeline dans chaque province (Alberta, Manitoba, Saskatchewan, Ontario, Québec et Nouveau-Brunswick).

Conformément à l'approche utilisée pour évaluer la santé humaine dans l'EES, une évaluation des risques sur la santé humaine a été réalisée pour déterminer les effets potentiels sur la santé humaine en cas d'accidents ou de défaillances associés au projet qui résultent d'un déversement de pétrole brut au sol par un pipeline terrestre. La méthode d'évaluation était volontairement prudente et privilégiait l'exagération des risques potentiels sur la santé plutôt que la sous-estimation; elle suivait par ailleurs la méthodologie standard d'évaluation des risques sur la santé humaine, ainsi que les directives réglementaires fédérales fournies par Santé Canada (2010a, b, c).

L'évaluation a permis de déterminer que les voies d'exposition les plus probables pour le public aux produits chimiques associés au pétrole brut étaient l'inhalation de vapeurs dans les minutes ou les heures qui suivent un déversement. Bien que les pétroles bruts contiennent de nombreux composés organiques volatils, le benzène est le plus volatil et le plus toxique des composés volatils et faisait donc l'objet de la modélisation des dangers. La modélisation des dangers a permis de déterminer que même pour un scénario crédible de la pire éventualité lié au déversement de 10 000 barils de pétrole brut, les concentrations prévues de benzène en aval étaient inférieures au seuil d'exposition acceptable pour la santé.

## 6.1 Évaluation des risques pour la santé humaine

Comme il a été indiqué auparavant, une ÉRSH a été réalisée afin de faciliter l'évaluation d'effets potentiels du projet sur la santé humaine associés à l'écoulement de pétrole brut sur le sol. L'ÉRSH regroupe des renseignements sur les récepteurs potentiels avec des données d'exposition aux produits chimiques et détermine les dangers (c.-à-d. toxicité) afin de définir le niveau de risque relatif engendré par l'activité associée au projet. Les éléments clés de l'évaluation des risques sont présentés sous forme de schéma dans la figure 6.1 :

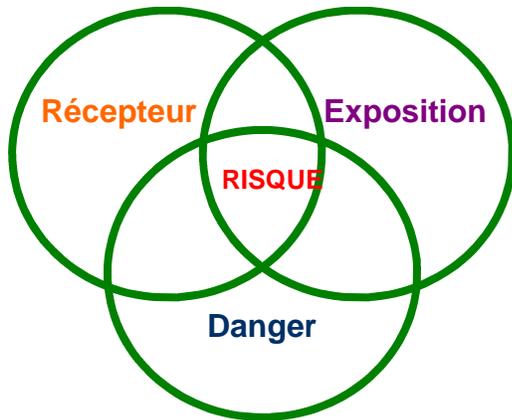


Figure 6-1 Principaux éléments de risque

Le cadre conventionnel d'évaluation des risques comprend quatre étapes :

- Énoncé du problème – identification des risques environnementaux qui pourraient poser un risque pour la santé humaine, des récepteurs potentiels, et des voies d'exposition pertinentes
- Évaluation de l'exposition – évaluation de la probabilité ou du degré d'exposition des récepteurs potentiels aux dangers
- Évaluation de la toxicité – définition de valeurs de toxicité publiées, ayant fait l'objet d'un examen scientifique par rapport auxquelles les incidences d'exposition potentielles peuvent être comparées
- Caractérisation du risque – évaluation du risque potentiel pour la santé des récepteurs potentiels par rapport à chaque danger, en fonction du degré d'exposition

### 6.1.1 Énoncé du problème

L'énoncé du problème met l'accent de l'ÉRSH sur les dangers, les récepteurs et les voies d'exposition les plus préoccupantes.

### **6.1.1.1 Contaminants potentiellement préoccupants**

Les pétroles bruts sont des mélanges complexes de centaines de composés organiques (et de beaucoup de composés inorganiques) dont les propriétés chimiques et physiques diffèrent fortement. Les composants du pétrole brut, que l'on considère comme les plus susceptibles de poser un risque pour la santé humaine, ont été déterminés comme des composants d'intérêt dans l'EES (consulter la section 3.3 du volume 6).

- Hydrocarbures aromatiques : le benzène, le toluène, l'éthylbenzène et les xylènes ont été identifiés, car ils représentent certains des composants les plus toxiques, les plus volatils, les plus solubles et les plus mobiles dans le pétrole brut. Parmi ceux-ci, le benzène constitue le plus volatil et il s'agit du plus toxique.
- Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) : ils ont été identifiés en raison de leur persistance dans l'environnement. Parmi ceux-ci, le naphtalène constitue le HAP le plus mobile dans l'environnement.

### **6.1.1.2 Récepteur**

Un récepteur humain est une personne hypothétique, de l'enfance à l'âge adulte, qui pourrait être exposée aux contaminants préoccupants à la suite d'un déversement de pétrole brut. L'ÉRSR inclut des récepteurs présentant le plus fort potentiel d'exposition et ceux dont la sensibilité est la plus élevée ou dont le potentiel de développer des effets négatifs sur la santé découlant de ces expositions est le plus élevé. Étant donné l'aspect inclusif de cette évaluation, toute la population, Autochtone ou non, doivent être pris en compte puisque l'utilisation prévue des terres et des ressources sont d'ordre traditionnel, résidentiel, récréatif, agricole et commercial.

Les personnes dont le travail vise les interventions d'urgence et la remédiation n'ont pas été considérées comme étant des récepteurs aux fins de l'ÉRSR. On présume que ces personnes ont reçu une formation appropriée en matière de santé et de sécurité, notamment sur l'utilisation de l'équipement de protection individuelle adéquat, qui constituerait un obstacle à l'exposition.

### **6.1.1.3 Voies d'exposition**

L'examen préalable des voies d'exposition fournit les liens, ou les voies d'exposition, par lesquels les personnes peuvent être exposées aux contaminants préoccupants présents dans le pétrole brut. Le potentiel d'exposition dépend d'un certain nombre de facteurs, notamment le type et la quantité de matière rejetée, la superficie de la zone de dispersion, le climat et les conditions météorologiques, ainsi que la stratégie d'intervention employées en cas de déversement. La prévention d'un déversement, l'intervention en cas d'urgence et la remédiation, qui limiteraient la probabilité et l'ampleur des expositions potentielles humaines, sont abordés dans l'EES (section 7 du volume 6).

Bien que cela soit peu probable, il est possible que des personnes soient en contact avec du pétrole résiduel avant d'avoir pu mettre en place des mesures de contrôle du site. Pour la plupart des personnes, un bref contact avec une petite quantité de pétrole n'aura pas de conséquence dangereuse (CDCCA, 2011). Certaines personnes sont plus sensibles aux produits chimiques, notamment ceux qui sont présents dans le pétrole brut. Ces personnes peuvent développer un « rash » ou une irritation cutanée ou

d'autres réactions allergiques (ATSDR, 1999), mais l'on ne devrait pas s'attendre à des effets à long terme sur la santé. Plus récemment, une évaluation de la santé publique visant à répondre aux préoccupations liées au contact direct avec des galettes de goudron à la suite d'un déversement de pétrole brut au Michigan a permis de conclure qu'un contact cutané répété et une ingestion accidentelle n'entraîneront pas d'effets à long terme sur la santé, ni un risque de cancer plus élevé que la normale (MDCH, 2012). Par conséquent, le contact direct avec les voies d'exposition du produit n'a pas été évalué davantage.

Comme l'indique l'EES (sections 3.5 et 7.4 du volume 6), Énergie Est serait responsable de nettoyer tout sol ou eau souterraine contaminé. Les niveaux de remédiation fondés sur les risques pour le sol et les eaux souterraines sont conçus pour protéger contre les expositions à long terme (chroniques) découlant des deux voies d'exposition (contact cutané et ingestion de sol ou d'eau souterraine), et contre les expositions secondaires comme l'ingestion d'aliments (baies, viande de gibier) ou de plantes médicinales, ainsi que l'inhalation de vapeurs, le cas échéant (Santé Canada, 2010a, CCME, 1997, 2006). Une fois que ces niveaux de remédiation fondés sur les risques sont atteints, aucun effet négatif à long terme n'est prévu sur la santé humaine.

Comme l'indique l'EES (sections 3.4 du volume 6), les fractions d'hydrocarbures les plus volatils s'évaporeront rapidement du pétrole brut accumulé, créant ainsi un panache de vapeurs. Les personnes situées à proximité du pétrole déversé pourraient inhaler ces hydrocarbures pétroliers volatils avant la mise en place de mesures d'intervention d'urgence, comme la surveillance de l'air ou l'évacuation (tel qu'il est décrit dans la section 4.5 du volume 6 de l'EES). Parmi les contaminants préoccupants pris en compte (benzène, toluène, éthylbenzène, xylènes et naphthalène), on considère que le naphthalène est relativement non volatil. Parmi les contaminants potentiellement préoccupants volatils restants, on considère que le benzène est le plus volatil et le plus toxique.

D'après l'évaluation ci-dessus, l'ÉRSR s'est concentrée sur l'inhalation de benzène par des membres de la population à partir du pétrole brut accumulé.

### 6.1.2 Évaluation de la toxicité

La toxicité représente le potentiel d'un contaminant de produire tout type de dommages (permanent ou temporaire) à la structure ou au fonctionnement de toute partie du corps d'un récepteur. La toxicité d'un contaminant dépend de la quantité absorbée par le corps (appelée la « dose ») et de la durée d'exposition (la durée pendant laquelle le récepteur est exposé au contaminant).

Comme nous l'avons mentionné précédemment, le pétrole brut déversé peut contenir de nombreux composés organiques volatils; toutefois, le benzène est le plus volatil et le plus toxique des composés volatils qui pourraient être rejetés dans l'air. Par conséquent, l'évaluation de la toxicité est axée sur le benzène et comprend les effets observés sur la santé découlant des expositions à court terme au benzène et la sélection de lignes directrices appropriées pour l'évaluation des effets potentiels sur la santé.

### 6.1.2.1 Effets observés sur la santé découlant des expositions à court terme au benzène

Les organismes gouvernementaux élaborent généralement des recommandations, à partir d'études toxicologiques ou épidémiologiques, par l'intermédiaire desquelles le niveau et la durée d'exposition sont contrôlés, ou raisonnablement connus, et dans lesquelles figurent des données sur les changements dans la réaction associés à un changement dans la dose. À partir des nombreuses études sur la toxicité du benzène, des études clés qui sont associées à des niveaux d'examen réglementaire, ou qui représentent un paramètre particulièrement préoccupant, sont présentées dans le tableau 2-1.

**Tableau 6-1 Effets observés sur la santé découlant des expositions à court terme au benzène par inhalation (extrait d'ATSDR, 2007)**

Concentration		Durée d'exposition	Effets sur la santé
ppmv	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		
20 000	63 900 000	5-10 minutes	Mort (Flury, 1928)
4 000	12 800 000	4 heures	Neurologique : fonction motrice diminuée chez les rats (Molar <i>et al.</i> , 1986)
313	1 000 000	7-20 jours	Reproduction : avortements accrus chez les lapins (Ungvary et Tratal, 1985)
300	960 000	30 minutes	Neurologique : somnolence, étourdissement, maux de tête (Flury, 1928)
150	480 000	4 mois – 1 an	Hématologique : numération globulaire complète réduite (Aksoy et Erdem, 1978)
110	350 000	2 heures	Neurologique : effets légers sur le système nerveux central (Srbova <i>et al.</i> , 1950)
60	190 000	1-21 jours	Respiratoire : irritation nasale et essoufflement (Midzenski <i>et al.</i> , 1992)
60	190 000	1-21 jours	Neurologique : étourdissement, nausée, maux de tête, fatigue (Midzenski <i>et al.</i> , 1992)
29	93 000	3,5 mois – 19 ans	Cancer : leucémie (Yin <i>et al.</i> , 1987)
10,2	32 600	6 heures par jour pendant 6 jours	Hématologique : leucocytémie réduite chez les souris (Rozen <i>et al.</i> , 1984)
REMARQUE :			
1 <sup>1</sup> . Effet sur la santé basé sur des sujets humains, sauf indication contraire.			

L'exposition à court terme au benzène à des concentrations élevées peut entraîner la dépression du système nerveux central, entraînant ainsi une somnolence, des étourdissements, des maux de tête, des nausées, de la fatigue et une fonction motrice réduite, notamment un trouble de l'élocution et une perte d'équilibre. Une irritation de l'œil, du nez et de la gorge a également été signalée après une exposition à court terme. On estime que les effets neurologiques légers du benzène (étourdissement, maux de tête), ainsi que l'irritation des yeux, du nez et de la gorge, sont liés aux concentrations dans l'air (plutôt qu'à la dose totale), ce qui signifie que ces effets diminuent une fois que l'exposition cesse. Les effets sur la santé (vertige, confusion, perte de conscience) s'aggravent au fur et à mesure que les concentrations de vapeurs de benzène dans l'air augmentent. Les concentrations de benzène associées aux effets létaux sont de magnitude plus élevées que les effets toxicologiques considérés comme pertinents dans le cadre de l'élaboration de lignes directrices à court terme.

Le benzène est rapidement éliminé du corps (ATSDR, 2007). On estime que les effets neurologiques du benzène (étourdissement, maux de tête), ainsi que l'irritation des membranes muqueuses (yeux et nez) sont liés aux concentrations dans l'air plutôt qu'à la dose totale, ce qui signifie que ces effets diminuent une fois que l'exposition cesse.

L'effet du benzène le plus important sur la santé est son impact sur le système sanguin (effets hématologiques). Le benzène peut être métabolisé dans le foie et dans la moelle osseuse et ses métabolites peuvent endommager la moelle osseuse (où les nouvelles cellules sanguines sont produites), ce qui réduit le nombre de globules rouges, de globules blancs et de cellules de coagulation. Au cours des stades initiaux, ces effets sur le système sanguin sont jugés réversibles, dans le mois qui suit la fin de l'exposition (Haber et Meek, 2013).

À la suite d'une exposition répétée ou prolongée au benzène, les effets sur la santé peuvent se transformer en anémie aplastique (un trouble sanguin rare qui empêche la moelle osseuse de produire des cellules sanguines) ou en leucémie (un cancer qui naît dans les cellules sanguines).

### **6.1.2.2 Lignes directrices en matière d'expositions à court terme au benzène**

En raison de la rareté des déversements de pétrole à partir de pipelines, les lignes directrices fondées sur l'exposition répétée ou continue ne conviennent pas pour l'évaluation des risques potentiels sur la santé découlant de l'inhalation immédiatement après un déversement de pétrole brut. Les guides des seuils d'exposition aiguë (Acute Exposure Guideline Levels - AEGL) ont été élaborés par l'Environmental Protection Agency (EPA) des États-Unis pour évaluer le risque potentiel pour la santé humaine associé à l'inhalation de produits chimiques, notamment le benzène, pendant de courtes durées (USEPA, 2009). Ces lignes directrices ont été choisies par les organismes de réglementation pour évaluer les effets aigus sur la santé découlant de l'exposition par inhalation à la suite du déversement de pétrole d'Enbridge en 2010 (MDCH, 2010, 2014).

Alors que le temps d'exposition passe des minutes aux heures, le risque de danger augmente aussi; par conséquent, le niveau acceptable dans l'air est plus bas pendant des périodes plus longues. Les AEGL sont élaborés aux fins de protection du grand public, notamment les sous-populations sensibles telles que les enfants, les personnes âgées ou celles ayant un problème de santé existant. Des valeurs figurant dans l'AEGL ont été déterminées pour diverses durées d'exposition; elles conviennent donc au scénario de déversement du pipeline, étant donné que le taux d'évaporation devrait atteindre son niveau maximal

dans les 20 minutes qui suivent le déversement. Voici les trois catégories d'AEGL, dont chacune correspond à un niveau différent de danger sur la santé des humains. Le tableau 2-2 fournit les AEGL pour le benzène.

**Tableau 6-2 AEGL concernant le benzène par catégorie et durée (en ppm)**

Catégorie du niveau de protection	Concentration par durée d'exposition (ppm)				
	10 minutes	30 minutes	60 minutes	4 heures	8 heures
<b>AEGL-1</b> : concentration de benzène au-dessus de laquelle la plupart des personnes ressentent une gêne notable, une irritation ou de légers effets sur le système nerveux central (étourdissement et maux de tête). Toutefois, les effets ne sont pas invalidants et cessent une fois que la personne n'inhale plus de benzène.	130	73	52	18	9,0
<b>AEGL-2</b> : concentration de benzène au-dessus de laquelle la plupart des personnes ressentent des effets négatifs irréversibles ou graves à long terme, ou encore, une capacité réduite à s'enfuir. L'AEGL-2 pour le benzène est fondé sur les graves effets observés sur le système nerveux central qui pourraient rendre quelqu'un inconscient et l'empêcher de s'enfuir.	2 000	1 100	800	400	200
<b>AEGL-3</b> : concentration de benzène au-dessus de laquelle la plupart des personnes pourraient ressentir des effets sur la santé menaçant la vie ou en mourir.	s.o.	5 600	4 000	2 000	990
SOURCE : USEPA (2009)					

### 6.1.3 Évaluation de l'exposition

#### 6.1.3.1 Scénarios de déversement modélisés

Afin d'estimer les concentrations potentielles de benzène auxquelles les récepteurs pourraient être exposés, une modélisation a été effectuée pour simuler un déversement à partir d'un pipeline de pétrole brut, en incluant les conditions initiales du pétrole, la croissance de la zone de déversement au sol, la durée du déversement et le taux d'émission estimé des composés volatils.

La probabilité d'une fuite à partir d'un pipeline et les volumes déversés qui y sont associés ont été évalués à l'aide des données historiques provenant des bases de données combinées de l'Office national de l'énergie (ONÉ) et de la Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration du département des Transports des États-Unis (consulter la section 2 du volume 6 de l'EES). Les données ont permis d'établir que :

- Dans 50 % des cas, le volume de déversement était de 4 barils (0,636 m<sup>3</sup>) ou moins
- Dans 80 % des cas, le volume de déversement était de 100 barils (15,9 m<sup>3</sup>) ou moins
- Dans 95 % des cas, le volume de déversement était de 1 000 barils (159 m<sup>3</sup>) ou moins
- Dans moins de 0,5 % des cas, le volume de déversement était de 10 000 barils (1 590 m<sup>3</sup>) ou moins

D'après ces renseignements, deux scénarios de déversements ont été pris en compte : 4 barils (représentant le volume de déversement médian) et 10 000 barils (représentant un grand volume de déversement).

Des hypothèses ont également été formulées pour caractériser un taux d'écoulement du pétrole brut. Le taux d'écoulement influe principalement sur la zone de déversement au fil du temps, contrôlant ainsi la zone exposée au pétrole brut et le taux d'évaporation du benzène et d'autres composés volatils dans l'atmosphère. Concernant le grand volume de déversement, on a supposé que le déversement était provoqué par la rupture complète du pipeline et que le taux d'écoulement était égal au taux de pompage du pipeline (1,1 million de barils par jour). Concernant le scénario de déversement moyen, on a supposé que le déversement avait lieu à partir d'un petit trou dans le pipeline et que le taux d'écoulement était égal à 1 % du taux de pompage du pipeline.

Divers pétroles bruts seront transportés dans le cadre du projet. On peut les classer dans trois catégories de caractéristiques générales : pétrole brut léger conventionnel, pétrole brut synthétique et bitume dilué, comme l'indique l'EES (section 3 du volume 6). Par conséquent, il est possible que plusieurs pétroles bruts s'écoulent pendant un déversement à partir d'un pipeline. La composition et la température de la nappe de pétrole détermineront les pressions partielles à l'interface vapeur-liquide qui ont une influence directe sur le taux de vaporisation du liquide dans son ensemble, et peuvent donc influencer sur les caractéristiques de dispersion du panache et, en définitive, sur la concentration en aval de benzène rejeté à partir du pétrole déversé. Un pétrole brut léger conventionnel a été choisi dans la modélisation du déversement puisqu'il contient une forte proportion de benzène par rapport aux autres pétroles bruts. Une composition simplifiée du pétrole brut, qui est estimée à partir d'une moyenne historique des courbes de distillation pour le pétrole brut léger acide Edmonton, a été fournie dans l'annexe 6A (Crude Quality, Inc., 2014).

Une fois que le liquide s'écoule du pipeline, le taux d'écoulement de contaminants dans l'atmosphère dépend de la superficie de la nappe (c.-à-d. zone de dispersion), de la température au sol et des conditions météorologiques observées au moment du déversement. On présume que le déversement forme une zone circulaire et qu'il se propage uniformément à partir de la source dont l'épaisseur minimale de 0,01 m. Plusieurs conditions météorologiques ont été prises en compte dans la modélisation du déversement.

La stabilité atmosphérique est une indication du niveau de turbulence et, par conséquent, de la capacité de dispersion de l'atmosphère. En général, un schéma de classification composé de six catégories allant de la classe A (très instable) à la classe F (modérément stable) est pris en compte pour caractériser la stabilité atmosphérique. L'occurrence de ces conditions de stabilité peut être résumée comme suit :

- Les **conditions instables** (classes A à C) sont caractérisées par un rayonnement solaire incident fort à modéré et par des vitesses de vent faibles à modérées. Ces conditions sont généralement observées pendant des journées calmes, chaudes et ensoleillées où le réchauffement du sol entraîne un mouvement vertical de l'air au sein de la couche de l'atmosphère proche de la surface. Le mouvement vertical entraîne une augmentation des turbulences. Les conditions instables sont limitées aux heures de clarté.

- Les **conditions neutres** (classe D) sont souvent observées pendant des conditions de ciel couvert ou dans des conditions de vents modérées à élevées. Une stabilité neutre peut se produire à tout moment pendant le jour ou la nuit.
- Les **conditions stables** (classes E et F) sont généralement observées lorsque les nuits sont calmes et claires et où le niveau inférieur de l'atmosphère se rafraîchit en raison du rayonnement provenant de cette couche sur le sol. Ce rafraîchissement entraîne un gradient de température stable (augmentation de la température avec l'altitude). Ce gradient stable freine le mouvement vertical et entraîne une baisse du niveau de turbulence. Les conditions stables sont généralement observées pendant les heures de nuit.

Les atmosphères instables et les vents forts tendent à encourager une vaporisation plus importante par rapport aux atmosphères plus stables et aux vents plus calmes qui entraînent une dilution moins importante (dispersion médiocre). Des températures plus élevées au sol et dans l'air peuvent également favoriser des taux d'évaporation plus élevés. Dans le cadre de cette ÉRSR, on a présumé que la température de l'air ambiant et la température au sol étaient de 25 °C pour toutes les combinaisons de stabilité et de vitesse du vent. Cette méthode devrait surévaluer les taux d'émission et les concentrations lorsque les conditions sont stables par rapport à ceux que l'on associerait aux températures de nuit ou aux premières heures du jour qui peuvent être inférieures à 25 °C.

Les conditions atmosphériques prises en compte dans le déversement formant la nappe et dans la modélisation ultérieure de la dispersion sont présentées dans le tableau 6-3.

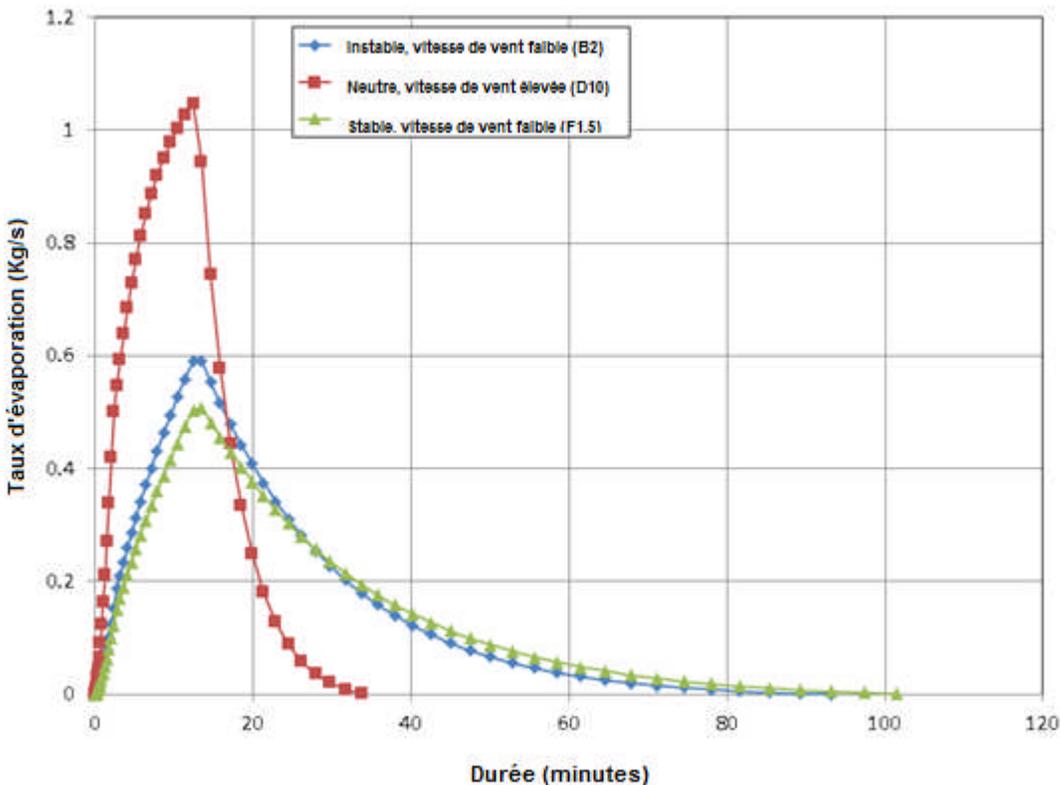
**Tableau 6-3 Conditions météorologiques utilisées dans la modélisation de la source et de la dispersion**

Code de météorologie	Classe de stabilité	Vitesse du vent		Température de l'air ambiant	Description
		(m/s)	(km/h)	(°C)	
A1	A	1	3,6	25	Se produit généralement au cours des journées chaudes et ensoleillées, de la fin de la matinée jusqu'en milieu d'après-midi lorsque le soleil est presque à son zénith.
B2	B	2	7,2	25	
D2	D	2	7,2	25	Conditions couvertes, durant le jour ou la nuit, à n'importe quel moment de l'année.
D5	D	5	18,0	25	
D10	D	10	36	25	Conditions de vent modérées à élevées, en tout temps, durant le jour ou la nuit.
E3	E	3	10,8	25	Conditions de nuit, légèrement couvertes.
F1,5	F	2	7,2	25	Conditions de nuit, nuits généralement fraîches et claires, vitesses de vent faibles.

### 6.1.3.2 Taux d'émission de benzène

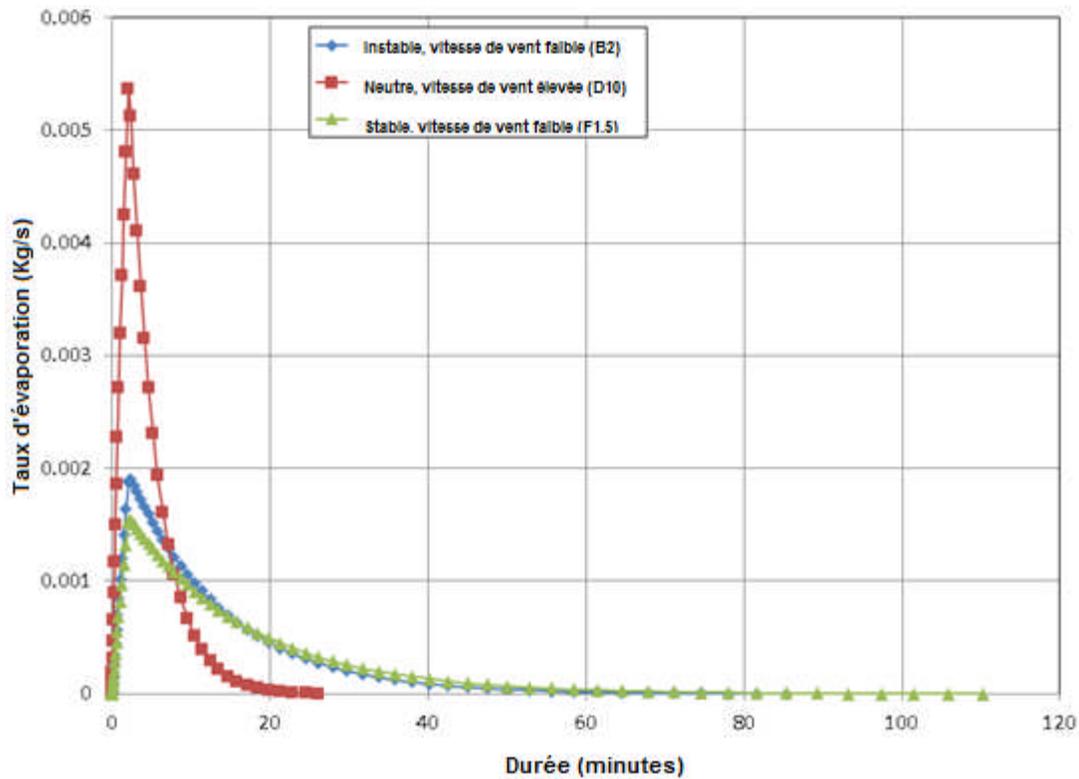
Les taux d'évaporation prévus de benzène dans le cas du scénario de déversement de 10 000 barils selon des conditions météorologiques choisies sont présentés dans la figure 6-2. Au fur et à mesure que la nappe grandit, le taux d'émission augmente de façon proportionnelle jusqu'à ce que le liquide cesse de s'écouler du pipeline. L'évaporation à partir du pétrole brut est plus complexe que l'évaporation à partir de l'eau, car la diffusion tout au long de la phase liquide est plus lente que pendant la phase gazeuse. Le fait de supposer que la nappe est peu profonde et qu'il n'y a aucune résistance en phase liquide pendant la modélisation signifie que l'ensemble du liquide est présent dans l'atmosphère et peut être vaporisé pendant le déversement. Au cours du déversement, environ 10 % de la masse sont vaporisés à partir du pétrole brut.

Les conditions de vent élevées conduisent à des taux de transfert de masse plus importants à l'interface vapeur-liquide, ce qui entraîne une évaporation plus rapide de la nappe que lorsque les conditions sont plus calmes.



**Figure 6-2** Taux d'évaporation du benzène au fil du temps à partir d'un déversement de 10 000 barils de pétrole brut, selon des conditions météorologiques choisies

Le taux d'émission prévu à partir du déversement de 4 barils est présenté dans la figure 6-3. La tendance relative au taux d'émission est semblable, mais avec des taux d'émission bien plus faibles que le scénario de déversement de 10 000 barils en raison du taux d'écoulement plus faible à partir du pipeline et de la durée de déversement plus courte.



**Figure 6-3** Taux d'évaporation du benzène au fil du temps à partir d'un déversement de 4 barils de pétrole brut, selon des conditions météorologiques choisies

#### 6.1.4 Caractérisation des risques

Le potentiel des risques pour la santé associés à l'exposition par inhalation a été évalué en comparant les concentrations de l'air prévues au niveau du sol au critère de santé ou à la limite d'exposition (c.-à-d. l'AEGL approprié pour le benzène fourni dans la section 2.2.2). Dans le cadre de cette évaluation, les concentrations maximales prévues de benzène en aval du lieu de déversement ont été modélisées à l'aide du modèle SLAB (Emak, 1990).

Le modèle SLAB est l'un des modèles recommandés par l'Environmental Protection Agency des États-Unis qui est capable de modéliser des rejets de gaz flottants et denses, et qui contient des algorithmes permettant d'estimer les effets des changements de phase au sein du panache et de l'entraînement réduit de l'air résultant des gradients de densité stables entre le panache et l'air ambiant.

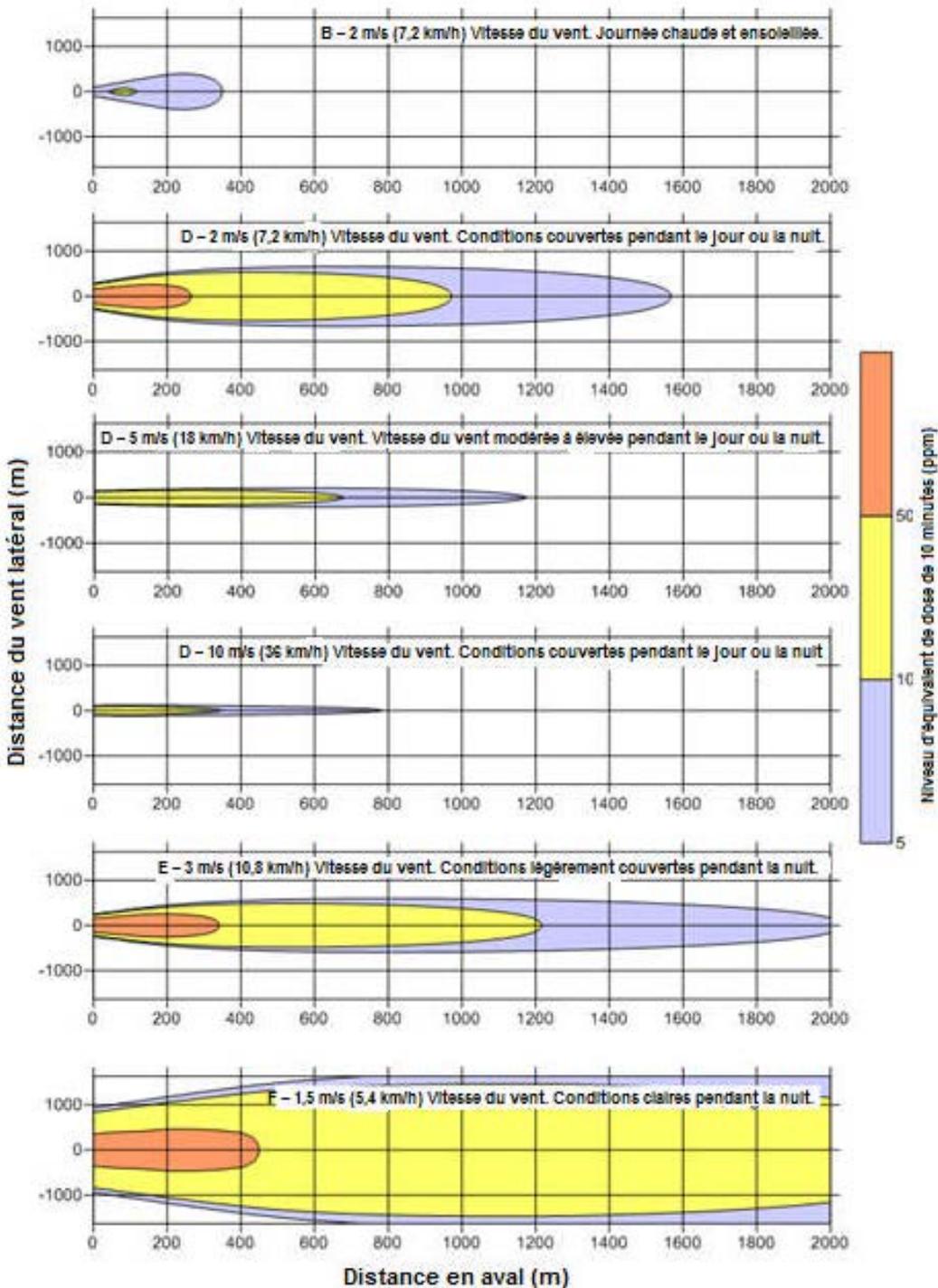
Les concentrations dans l'air après la rupture d'un pipeline changent avec le temps. Par conséquent, une valeur de dose liée à un événement a été calculée pour déterminer une distance maximale conforme aux lignes directrices en matière d'exposition (c.-à-d. les AEGL). Les détails de ce calcul sont fournis dans l'annexe 6A. D'après la dose liée à l'événement, une concentration équivalente, qui est essentiellement la concentration moyenne observée pendant la période d'intérêt, peut être estimée et comparée aux lignes directrices portant sur l'exposition.

Le tableau 6-4 présente les distances maximales en aval de concentrations de benzène provenant d'un lieu de rupture d'un pipeline entraînant un déversement de 10 000 barils et de 4 barils de pétrole brut. Aucun scénario de déversement n'a conduit à la détermination de concentrations en aval égales ou supérieures aux seuils les plus bas (AEGL-1); par conséquent, il n'y avait aucune raison d'inclure les valeurs moins strictes des AEGL-2 et AEGL-s dans le tableau 6-4. Au lieu de cela, des seuils moyens de 10 ppm et 50 ppm sur 10 minutes ont été inclus dans le tableau 6-4 de manière à fournir un contexte relativement aux concentrations d'exposition prévues pour le benzène. Les distances maximales prévues en aval des concentrations de 10 ppm et 50 ppm étaient de 2 350 et 451 m, respectivement, lorsque les conditions atmosphériques sont stables et que les vents sont faibles.

La dispersion en aval du benzène à la suite du déversement de 10 000 barils selon des conditions météorologiques choisies est présentée dans la figure 6-4. Les concentrations de benzène ne devraient pas dépasser les valeurs des AEGL; ainsi, des courbes additionnelles de 5, 10 et 50 ppm sont fournies à titre de contexte concernant l'étendue et la forme du panache de dispersion. Bien que la vitesse de vent élevée puisse accroître la vaporisation du benzène à partir de la nappe de pétrole brut, elle augmentera également la dispersion des vapeurs. Par conséquent, la distance maximale versaval diminue lorsque les vitesses de vent sont plus élevées, comme le démontre la figure 6-4.

**Tableau 6-4 Distance maximale prévue en aval des concentrations de benzène de 10 ppm, 50 ppm et 130 ppm (seuil AEGL-1 pour le benzène)**

Ampleur du déversement (barils)	Taux d'écoulement de pétrole (m <sup>3</sup> /s)	Durée de l'écoulement (minutes)	Conditions météorologiques		Distance maximale en aval (m)		
			Vitesse du vent (m/s)	Stabilité atmosphérique	10 ppm de benzène	50 ppm de benzène	AEGL-1 (130 ppm benzène)
10 000	2	13	1	A	113	0	0
			2	B	335	0	0
			2	D	970	265	0
			5	D	677	0	0
			10	D	345	0	0
			3	E	1 220	341	0
			1,5	F	2 350	451	0
4	0,005	2	1	A	0	0	0
			2	B	0	0	0
			2	D	24	0	0
			5	D	14	0	0
			10	D	7	0	0
			3	E	30	0	0
			1,5	F	35	0	0



**Figure 6-4** Courbes de concentration équivalente l'exposition d'une dose de le benzène pour une durée de 10 minutes (en ppm) lors d'un déversement de 10 000 barils de pétrole brut

### 6.1.5 Résumé

Une ÉRSR a été réalisée afin de faciliter l'évaluation d'effets potentiels du projet sur la santé humaine associés au déversement de pétrole brut sur le sol. Les voies d'exposition les plus probables du public aux produits chimiques associés au pétrole brut étaient l'inhalation de vapeurs dans les minutes ou les heures qui suivent un déversement. Bien que les pétroles bruts contiennent de nombreux composés organiques volatils, le benzène est le plus volatil et le plus toxique des ces composés volatils. Ainsi, l'ÉRSR était axée sur le benzène.

Une modélisation des dangers a été effectuée pour évaluer le risque potentiel pour la santé humaine découlant de l'exposition au benzène par inhalation à la suite d'un déversement de pétrole brut sur le sol à partir du pipeline. Les concentrations en aval issues de l'évaporation de benzène ont été modélisées de façon prudente par l'intermédiaire d'un modèle de danger recommandé de l'Environmental Protection Agency des États-Unis (SLAB) afin de déterminer l'exposition potentielle au benzène en aval de sa source. Les concentrations prévues ont été comparées aux lignes directrices fondées sur la santé fournies par l'Environmental Protection Agency des États-Unis (AEGL). L'exposition au benzène ne devrait pas dépasser les seuils les plus bas de l'AEGL (AEGL-1 – concentration de benzène à laquelle la plupart des personnes ressentent une gêne notable, une irritation ou de légers effets sur le système nerveux central tel que des étourdissements et des maux de tête). Pour les déversements typiques (moyens), les concentrations de benzène allant jusqu'à 10 ppm étaient limitées à moins de 35 m de la zone de déversement.

D'après ces résultats, les effets potentiels sur la santé humaine découlant d'un déversement de pétrole brut devraient être à court terme, réversibles et relativement peu fréquents, étant donné que les concentrations prévues maximales sont inférieures aux valeurs des lignes directrices fondées sur la santé.

### 6.1.6 Fiabilité des prévisions

L'évaluation était basée sur la protection du grand public, y compris les sous-populations sensibles comme les enfants, les personnes âgées ou celles ayant un problème de santé existant, et se reflète dans le choix des guides de seuil d'exposition (AEGL) et dans le niveau de protection pris en compte (c.-à-d. inconfort, irritation ou effets légers sur le système nerveux central).

La modélisation de l'exposition présentée ici se veut de nature prudente, ayant été conçue pour conduire à des prévisions minimisant les obstacles au benzène entrant dans l'atmosphère. Le fait de peaufiner le modèle pour y inclure l'altération, l'accumulation du pétrole sur le sol et la représentation de la résistance en phase liquide du fluide au benzène s'écoulant vers l'interface air-liquide, entraînerait probablement une estimation réduite de l'exposition en aval au benzène découlant d'un déversement de pétrole.

## 6.2 Conclusions

La voie d'exposition la plus probable du public aux produits chimiques associés au pétrole brut est l'inhalation de vapeurs dans les minutes ou les heures qui suivent un déversement. Parmi les contaminants préoccupants identifiés dans le pétrole brut (benzène, toluène, éthylbenzène, xylènes et naphthalène), on considère que le benzène est le plus volatil et le plus toxique. Les concentrations

auxquelles les personnes peuvent être exposées lors d'un déversement dépendront du volume, du moment et du lieu du déversement. Une modélisation a été effectuée pour évaluer les concentrations d'exposition potentielles dans des conditions atmosphériques différentes, pour deux volumes de déversement différents. L'exposition au benzène ne devrait pas dépasser la concentration à laquelle la plupart des personnes ressentent une gêne notable, une irritation ou de légers effets sur le système nerveux central tels que des étourdissements et des maux de tête, pour les déversements moyens (4 barils) ou même lors des déversements plus importants (10 000 barils).

D'après ces résultats, les effets potentiels sur la santé humaine découlant du déversement de pétrole brut devraient être à court terme, réversibles et relativement peu fréquents, étant donné que les concentrations maximales prévues sont inférieures aux valeurs des lignes directrices fondées sur la santé.

### 6.3 Références

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 1999. Toxicological Profile for Total Petroleum Hydrocarbons (TPH). Accès : <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp123.pdf>
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 2007. Toxicological Profile for Benzene. Accès : <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp.asp?id=40&tid=14>
- Aksoy, M., Erdem, S. 1978. Followup study on the mortality and the development of leukemia in 44 pancytopenic patients with chronic benzene exposure. *In*: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), 2007. *Blood* 52:285-292.
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). 2011. Yellowstone River 2011: Silvertip Pipeline Spill Light Crude Oil Information for Health Professionals. Accès : [http://www.atsdr.cdc.gov/sites/yellowstone\\_river\\_spill/docs/FactSheet\\_Health\\_Professionals.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/sites/yellowstone_river_spill/docs/FactSheet_Health_Professionals.pdf)
- Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME). 1997. Document d'orientation sur l'établissement d'objectifs particuliers à un site en vue d'améliorer la qualité du sol des lieux contaminés au Canada. PN1197.
- Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME). 2006. Protocole d'élaboration de recommandations pour la qualité des sols en fonction de l'environnement et de la santé humaine. PN1332.
- Crude Monitor Inc. 2014. Crude Monitor – SLE. Accès : <http://www.crudemonitor.ca/crude.php?acr=SLE>
- Emak, D.L. 1990. User's Manual for SLAB: An Atmospheric Dispersion Model for Denser-Than-Air Releases. Lawrence Livermore National Laboratory. June 1990.
- Environmental Protection Agency des États-Unis (USEPA). 2009. Benzene. Interim Acute Exposure Guideline Levels (AEGLS) for NAS/COT Subcommittee for AEGLS. Accès : [http://www.epa.gov/oppt/aegl/pubs/benzene\\_interim\\_dec\\_2008\\_v1.pdf](http://www.epa.gov/oppt/aegl/pubs/benzene_interim_dec_2008_v1.pdf)  
<http://www.epa.gov/oppt/aegl/pubs/sop.pdf>
- Flury, F. 1928. II. Toxicities in modern industry. Ila. Pharmacological-toxicological aspects of intoxicants in modern industry. *In*: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), 2007. *Arch. Exp. Pathol. Pharmacol.* 138:65-82 (en allemand).

- Haber, L., Meek, B. 2013. Position Paper on Human Health Risk Assessment for Less-Than-Chronic Exposures to Chemicals (Noncancer Endpoints). April 2013. Préparé pour TERA. Disponible sur demande à l'adresse cs-sc@hc-sc.gc.ca.
- Lees, F.P. 2005. Loss Prevention. *In*: Mannan, Ed., Elsevier, S. The Process Industries: Hazard Identification, Assessment And Control. 3<sup>e</sup> éd. Butterworth-Heinemann. ISBN 0750675551.
- Michigan Department of Community Health. 2010. Acute Health Effects of the Enbridge Oil Spill. November 2010. (Minor Revisions 12/20/2010). [consulté le 23 septembre 2014]. Accès : [http://www.michigan.gov/documents/mdch/enbridge\\_oil\\_spill\\_epi\\_report\\_with\\_cover\\_11\\_22\\_10\\_339101\\_7.pdf](http://www.michigan.gov/documents/mdch/enbridge_oil_spill_epi_report_with_cover_11_22_10_339101_7.pdf)
- Michigan Department of Community Health. 2012. Public Health Assessment. Kalamazoo River/Enbridge Spill: Evaluation of people's risk for health effects from contact with the submerged oil in the sediment of the Kalamazoo River. May 23, 2012.
- Michigan Department of Community Health. 2014. Public Health Assessment. Evaluation of Air Contamination. Kalamazoo River Enbridge Oil Spill. Calhoun and Kalamazoo Counties, Michigan. August 26, 2014. [consulté le 23 septembre 2014]. Accès : [http://www.michigan.gov/documents/mdch/Enbridge\\_Oil\\_Spill\\_Air\\_\\_PHA\\_-\\_PC\\_08-26-2014\\_466005\\_7.pdf](http://www.michigan.gov/documents/mdch/Enbridge_Oil_Spill_Air__PHA_-_PC_08-26-2014_466005_7.pdf)
- Midzenski, M.A., McDiarmid, M.A., Rothman, N., Kolodner, K. 1992. Acute high dose exposure to benzene in shipyard workers. *In*: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), 2007. *Am. J. Ind. Med.* 22(4):553-565.
- Rozen, M.G., Snyder, C.A., Albert, R.E. 1984. Depression in B- and T-lymphocyte mitogen-induced blastogenesis in mice exposed to low concentrations of benzene. *In*: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), 2007. *Toxicol. Lett.* 20:343-349.
- Santé Canada. 2010a. L'évaluation du risque pour les lieux contaminés fédéraux au Canada – Partie I : L'évaluation quantitative préliminaire des risques (ÉQPR) pour la santé humaine, version 2.0. Mis à jour en 2012.
- Santé Canada. 2010b. L'évaluation des risques pour les sites contaminés fédéraux au Canada, Partie II : Valeurs toxicologiques de référence (VTR) de Santé Canada et paramètres de substances chimiques sélectionnées, version 2.0.
- Santé Canada. 2010c. L'évaluation des risques pour les sites contaminés fédéraux au Canada, Partie V : L'évaluation quantitative détaillée des risques pour la santé humaine associés aux substances chimiques (ÉQDRCHIM).
- Srbova, J., Teisinger, J., Skramovsky, S. 1950. Absorption and elimination of inhaled benzene in man. *In*: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), 2007. *Arch. Ind. Hyg. Occup. Med.* 2:1-8.
- Ungvary, G., Tatrai, E. 1985. On the embryotoxic effects of benzene and its alkyl derivatives in mice, rats and rabbits. *In*: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), 2007. *Arch. Toxicol. suppl.* 8:425-430.

Yin, S., Li, G., Hu, Y., *et al.* 1987. Symptoms and signs of workers exposed to benzene, toluene or the combination. *In: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), 2007. Ind. Health 25:113-130.*

Zhou, T., Wong, K.V. 1997. Modeling Airborne Levels Of Some Volatile Components In Oil Spills. *International Oil Spill Conference Proceedings. April 1997. 1997(1):101-108. Accès : <http://ioscproceedings.org/doi/pdf/10.7901/2169-3358-1997-1-101>*

# **ANNEXE 6A**

## **Modélisation de la dispersion dans l'air**



## 6A.1 Paramètres de modélisation du déversement de pétrole brut

Le tableau 6A-1 résume les hypothèses relatives aux caractéristiques initiales du déversement.

**Tableau 6A-1 Paramètres de modélisation du déversement de pétrole brut**

Paramètre	Valeur
Taux de pompage du pipeline (barils par jour)	1 100 000
Diamètre intérieur du tuyau (m)	1,07
Profondeur de la nappe de déversement (m)	0,01
Température de l'air ambiant (°K)	298
Pression ambiante (kPa)	100
Terrain	Plat
Température supposée du pétrole brut pendant le déversement (°C)	12,8

## 6A.2 Composition du pétrole brut léger acide (Edmonton)

Le pétrole brut léger acide Edmonton conventionnel a été choisi dans la modélisation du déversement, car beaucoup de renseignements sur sa composition sont facilement accessibles, il est déjà transporté à l'est et il contient également une forte proportion de benzène par rapport aux autres pétroles bruts. Les renseignements disponibles pour le pétrole brut léger Bakken indiquent qu'il n'est pas aussi volatil que le pétrole brut léger acide Edmonton; l'évaluation actuelle devrait donc surestimer le taux de vaporisation de la nappe. Une composition simplifiée du pétrole brut, qui est estimée à partir d'une moyenne historique des courbes de distillation pour le pétrole brut léger acide Edmonton, est présentée dans le tableau 6A-2 (Crude Quality, Inc., 2014).

**Tableau 6A-2 Composition du pétrole brut représentatif**

Substance	Fraction molaire
Méthane	2,93E-04
Éthane	1,48E-04
Propane	7,84E-03
Butane	2,00E-01
Pentane	4,45E-02
Hexane	1,05E-01
Heptane	1,12E-01
Octane	6,75E-02

**Tableau 6A-2 Composition du pétrole brut représentatif**

Substance	Fraction molaire
C9-C29	2,72E-01
C30+	1,66E-01
Toluène	7,90E-03
Éthylbenzène	2,59E-03
Xylène	1,12E-02
Benzène	2,80E-03

La composition a été normalisée d'après la fraction molaire prévue du benzène de 0,0028.

### 6A.3 Calcul de la dose liée à l'événement

La dose liée à l'événement a été calculée à l'aide de la loi de Haber, qui définit un lien dose-réponse pour le contaminant à l'étude :

$$D = \int_{t=0}^T C^n dt$$

où C constitue la concentration variant (et fluctuant) dans le temps à un récepteur donné en aval et T représente la durée de l'événement conduisant à une dose D. La valeur en exposant n est généralement déterminée de façon empirique pour chaque substance : dans le cas du benzène, on suggère que n = 2 est une valeur appropriée pour calculer la dose associée à l'exposition au benzène (Lees, 2005). L'équation ci-dessus a été utilisée pour calculer l'exposition équivalente au benzène aux seuils d'exposition AEGL de 10 minutes présentés dans le tableau 6.3.

Si la concentration variant dans le temps à un récepteur précis est connue, la dose accumulée pour l'événement à l'étude (dose liée à l'événement) peut alors être estimée. D'après la dose liée à l'événement, une concentration équivalente peut être estimée de manière à ce que l'exposition à cette concentration, pendant la durée précisée par le critère  $T_{av}$ , conduise à la dose liée à l'événement. La concentration équivalente peut être estimée à l'aide de l'équation suivante :

$$C_{equiv} = \left( \frac{D}{T_{av}} \right)^{1/n}$$

Cette concentration équivalente estimée peut ensuite être comparée directement au critère de concentration afin de pouvoir définir l'étendue de la zone de danger située en aval.