



Government  
of Canada

Gouvernement  
du Canada

Canada

## **Ébauche d'évaluation préalable**

### **Groupe des cokes de pétrole**

**Numéro de registre du Chemical Abstracts Service**

**(n° CAS)**

**64741-79-3**

**64743-05-1**

**Environnement et Changement climatique Canada**  
**Santé Canada**

**Septembre 2020**

## Sommaire

En vertu de l'article 74 de la *Loi canadienne pour la protection de l'environnement* (1999) [LCPE], le ministre de l'Environnement et la ministre de la Santé ont réalisé une évaluation préalable des deux substances formant le groupe des cokes de pétrole, dans le cadre du Plan de gestion des produits chimiques. Les substances de ce groupe figurent parmi celles dont l'évaluation est prioritaire, car elles satisfont aux critères de catégorisation au sens du paragraphe 73(1) de la LCPE. Leur numéro de registre CAS (n° CAS<sup>1</sup>), leur nom sur la Liste intérieure des substances (LIS) et leur nom commun figurent dans le tableau ci-dessous.

### Substances du groupe des cokes de pétrole

N° CAS	Nom sur la LIS	Nom commun
64741-79-3	Coke (pétrole)	coke (pétrole)
64743-05-1	Coke calciné (pétrole)	coke calciné (pétrole)

Le coke (pétrole) est un résidu riche en carbone, sous-produit du procédé de conversion thermique du raffinage du pétrole brut et de la valorisation du sable bitumineux. Le chauffage du coke (pétrole) pour en retirer les produits volatils donne le coke calciné (pétrole). La teneur en carbone du coke (pétrole) et du coke calciné (pétrole) se situe entre 84 % et 97 % (CONCAWE 1993). Les deux cokes sont des substances de composition inconnue ou variable, produits de réactions complexes ou matières biologiques (UVCB). Du point de vue de la chimie, le coke calciné (pétrole) est plus raffiné que le coke (pétrole) et contient moins de substances volatiles et autres impuretés. Aux fins de cette évaluation, les deux substances ont été réunies dans le groupe des cokes de pétrole.

Une partie du coke (pétrole) produit au Canada est utilisée sur place comme combustible par des raffineries ou des usines de valorisation du bitume, mais la majorité est stockée en piles comme la région des sables bitumineux de l'Athabasca pour une utilisation future. Le coke (pétrole) produit ou importé au Canada est aussi calciné pour être utilisé dans des alumineries ou des aciéries.

Puisque les substances du groupe des cokes de pétrole sont des UVCB, il existe peu de renseignements sur leur concentration environnementale et leur toxicité pour l'environnement. Ainsi, nous utiliserons comme données de substitution pour l'exposition, les dangers et les risques pour l'environnement associés aux cokes de

---

<sup>1</sup> Le numéro de registre du Chemical Abstracts Service (n° CAS) est la propriété de l'American Chemical Society et toute utilisation ou redistribution, sauf quand cela est requis pour des exigences réglementaires et/ou pour des rapports au gouvernement du Canada quand l'information et les rapports sont requis en vertu d'une loi ou d'une politique administrative, est interdite sans autorisation écrite de l'American Chemical Society.

pétrole, celles de certains de ses composants comme les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), le nickel et le vanadium, le cas échéant.

Nous présumons que les substances du groupe des cokes de pétrole sont peu biodisponibles, étant donné les propriétés physico-chimiques de leurs composants UVCB, comme leur faible solubilité dans l'eau et leur fort poids moléculaire, ainsi que leurs effets nocifs faibles observés à de fortes concentrations lors d'essais en milieu aquatique ou terrestre, ou en laboratoire, sur des mammifères.

Des études sur la lixiviation et des enquêtes sur le terrain dans des conditions expérimentales particulières ont permis de déceler des hydrocarbures aromatiques (HAP) et des impuretés métalliques associés au coke de pétrole. Toutefois, ces composants ne sont pas considérés être facilement biodisponibles dans les conditions environnementales normales des piles de stockage de coke de pétrole, à cause de l'insolubilité, de la forte teneur en carbone et de la grande taille des particules de coke de pétrole.

Pour aborder les inquiétudes relatives à la lixiviation des substances contenues dans les piles de coke de pétrole près des rivières, nous avons réalisé une analyse des données disponibles sur la surveillance des eaux de surface et des sédiments, dans les zones de la rivière Athabasca voisines des piles de coke de pétrole dans la région des sables bitumineux de l'Athabasca. Les mesures n'indiquent pas une hausse du risque pour le milieu aquatique occasionné par les HAP et les métaux (nickel et vanadium) présents dans les cokes de pétrole, en aval des piles formées à l'extérieur.

Compte tenu de tous les éléments de preuve contenus dans la présente ébauche d'évaluation préalable, le coke (pétrole) et le coke calciné (pétrole) présentent un faible risque d'effets nocifs pour l'environnement. Il est proposé de conclure que le coke (pétrole) et le coke calciné (pétrole) ne satisfont pas aux critères énoncés aux alinéas 64a) et b) de la LCPE, car ils ne pénètrent pas dans l'environnement en une quantité ou concentration ou dans des conditions de nature à avoir, immédiatement ou à long terme, un effet nocif sur l'environnement ou sur la diversité biologique, ou à mettre en danger l'environnement essentiel pour la vie.

L'agence de protection de l'environnement des États-Unis a réalisé une caractérisation préalable des dangers posés par la poussière de coke (pétrole) et de coke calciné (pétrole). L'agence pour le registre des substances toxiques et des maladies (ATSDR) des États-Unis a aussi réalisé des évaluations des dangers posés par le coke de pétrole. On n'a trouvé aucune preuve de génotoxicité *in vivo* ou *in vitro*, de cancérogénicité ou de toxicité pour la reproduction ou le développement causées par l'inhalation de particules (poussière) ou l'exposition cutanée à ces substances. Toutefois, l'exposition par l'inhalation à des doses répétées de coke (pétrole) pendant deux ans chez des rats s'est traduite par l'accumulation de poussières de coke dans leurs poumons et l'inflammation de cet organe.

Des mesures des particules de coke de pétrole libérées dans l'air à partir de piles dans la région des sables bitumineux de région de l'Athabasca, au voisinage d'installations urbaines de production et de transport de coke de pétrole, à proximité d'aciéries et d'alumineries et aux alentours de cokeries n'indiquent aucun risque accru découlant de l'exposition par inhalation au coke de pétrole. L'exposition au coke de pétrole dans le sol et l'eau est également peu préoccupante.

À la lumière des renseignements contenus dans la présente ébauche d'évaluation préalable, il est proposé de conclure que le coke (pétrole) et le coke calciné (pétrole) ne satisfont pas au critère énoncé à l'alinéa 64c) de la LCPE, car ils ne pénètrent pas dans l'environnement en une quantité ou concentration ou dans des conditions de nature à constituer un danger au Canada pour la vie ou la santé humaines.

Il est proposé de conclure que le coke (pétrole) et le coke calciné (pétrole) ne satisfont à aucun des critères énoncés à l'article 64 de la LCPE.

## Table des matières

<b>Sommaire .....</b>	i
<b>1. Introduction .....</b>	1
<b>2. Identité des substances.....</b>	3
<b>3. Propriétés physiques et chimiques .....</b>	6
<b>4. Sources et utilisations .....</b>	6
<b>5. Libération et rejets dans l'environnement .....</b>	9
<b>6. Devenir et comportement dans l'environnement .....</b>	10
<b>7. Potentiel de causer des effets nocifs pour l'environnement.....</b>	11
7.1 Évaluation des effets sur l'environnement .....	11
7.2 Évaluation de l'exposition de l'environnement .....	13
7.3 Caractérisation des risques pour l'environnement .....	16
<b>8. Potentiel de causer des effets nocifs pour la santé humaine .....</b>	23
8.1 Évaluation de l'exposition .....	23
8.2 Évaluation des effets sur la santé .....	30
8.3 Caractérisation des risques pour la santé humaine .....	35
8.4 Incertitudes dans l'évaluation des risques pour la santé humaine .....	36
<b>9. Conclusion.....</b>	37
<b>Références .....</b>	38
<b>Annexe A. Résumé des données du poste de surveillance environnementale de la rivière Athabasca .....</b>	1

## Table des tableaux

Tableau 2-1. Identité des deux substances du groupe des cokes de pétrole.....	3
Tableau 2-3. Plages typiques de la teneur en composants caractéristiques du coke calciné (d'après Lee et coll. 1997) .....	5
Tableau 4-2. Approvisionnement et utilisation de cokes de pétrole au Canada en 2016, en milliers de mètres cubes (Statistique Canada 2020) <sup>a</sup> .....	7
<b>Tableau 4-3. Utilisations du coke de pétrole au Canada selon les informations reçues en réponse à une enquête menée en vertu de l'article 71 de la LCPE (Environnement Canada 2016a) et autres sources. ....</b>	<b>8</b>
<b>Tableau 7-5. CESE de métaux chez des organismes vivant dans l'eau, dans les sédiments et le sol .....</b>	<b>18</b>
<b>Tableau 7-6. CESE des HAP chez des organismes vivant dans l'eau, les sédiments et le sol .....</b>	<b>18</b>
<b>Tableau 7-7. Résumé des unités toxiques (HAP) et des quotients de risque (métaux) pour l'eau de surface obtenus à partir des postes de surveillance situés le long de la rivière Athabasca pour les composants des substances du groupe des cokes de pétrole .....</b>	<b>19</b>
<b>Tableau 7-8. Résumé des quotients de risques pour les sédiments obtenus des postes de surveillance situés le long de la rivière Athabasca pour les composants des substances du groupe des cokes de pétrole .....</b>	<b>20</b>
Tableau 8-1 Sources d'incertitudes dans la caractérisation des risques .....	37

## 1. Introduction

En vertu de l'article 74 de la *Loi canadienne pour la protection de l'environnement* (1999) [LCPE], le ministre de l'Environnement et la ministre de la Santé ont réalisé une évaluation préalable des deux substances, le coke (pétrole) (n° CAS<sup>2</sup> 64741-79-3) et le coke calciné (n° CAS 64741-05-1), formant le groupe des cokes de pétrole dans le cadre du Plan de gestion des produits chimiques afin de déterminer si ces substances présentent ou peuvent présenter un risque pour l'environnement ou la santé humaine. Les substances de ce groupe figurent parmi celles dont l'évaluation est prioritaire, car elles satisfont aux critères de catégorisation au sens du paragraphe 73(1) de la LCPE (ECCC, SC [modifié en 2017]).

Les substances du groupe des cokes de pétroles sont de composition inconnue ou variable, produits de réactions complexes ou matières biologiques (UVCB). Il existe peu de renseignements sur leur concentration environnementale et leur toxicité pour la santé humaine et l'environnement. Ainsi, pour déterminer l'exposition, les dangers et les risques pour l'environnement associés aux cokes de pétrole, nous utiliserons comme données de substitution les données de certains de ses composants comme les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), le nickel et le vanadium, le cas échéant.

La libération de certains composants chimiques des substances du groupe des cokes de pétrole, ainsi que l'exposition à ces substances sont étudiées dans la présente évaluation. Les composants examinés comprennent certains HAP, le vanadium et le nickel. La présente évaluation est basée sur les évaluations des risques antérieures de ces composants, dont voici la liste :

- Le vanadium et le nickel sont déjà examinés dans des évaluations antérieures de composés inorganiques (Environnement Canada, Santé Canada 1996; SC 2016b) et figurent à l'annexe 1 de la LCPE.
- Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), y compris ceux provenant de l'utilisation du coke de pétrole et rejetés par le secteur métallurgique (métaux et cokeries), les fonderies d'aluminium et les déchets contenant des HAP ont été évalués (Environnement Canada, Santé Canada 1994) et figurent à l'annexe 1 de la LCPE.
- Les effets sur la santé associés aux particules grosses et fines ont été évalués par Santé Canada (Santé Canada 2013, Santé Canada 2016a). Des normes canadiennes de qualité de l'air ambiant pour les PM<sub>2,5</sub> (CCME 2019)

---

<sup>2</sup> Le numéro de registre du Chemical Abstracts Service (n° CAS) est la propriété de l'American Chemical Society et toute utilisation ou redistribution, sauf si cela est requis pour des exigences réglementaires et/ou pour des rapports au gouvernement du Canada quand l'information et les rapports sont requis en vertu d'une loi ou d'une politique administrative, est interdite sans autorisation écrite préalable de l'American Chemical Society.

ainsi que des recommandations pour les PM<sub>2,5</sub> dans l'air intérieur ont été établies (Santé Canada 2012).

Les substances du groupe des cokes de pétrole font l'objet d'un examen à l'échelle internationale par l'Environmental Protection Agency des États-Unis (US EPA 2011, MDEQ 2014, ATSDR 2016). Ces évaluations ont été utilisées pour étayer la caractérisation des effets sur la santé dans la présente évaluation préalable.

Dans la présente ébauche d'évaluation préalable, nous tenons compte des données sur les propriétés chimiques, le devenir dans l'environnement, les dangers, les utilisations et les expositions, y compris des données complémentaires fournies par les parties prenantes. Nous avons obtenu des données pertinentes jusqu'en mars 2019 et effectué des recherches documentaires ciblées jusqu'en janvier 2020. Nous avons tenu compte des données disponibles et pertinentes présentées dans des évaluations d'autres administrations. Nous avons utilisé des données empiriques provenant des études principales ainsi que des résultats de modèles pour parvenir aux conclusions proposées.

La présente ébauche d'évaluation préalable a été préparée par le personnel du Programme d'évaluation des risques de la LCPE à Santé Canada et à Environnement et Changement climatique Canada. Elle comprend des résultats provenant d'autres programmes de ces ministères. La présente évaluation a fait l'objet d'un examen réalisé par des pairs externes ainsi que d'une consultation externe. M. Geoff Granville (GCGranville Consulting Corp) et le Connie Gaudet ont fait part de leurs commentaires sur les parties techniques concernant l'environnement, tandis que J. A. Caruso (Wayne State University), G. T. Johnson (University of South Florida) et D. Singh (University of South Florida) ont fait part de leurs commentaires sur les parties techniques concernant la santé humaine. Les commentaires externes ont été pris en considération. Cependant, le contenu et la conclusion définitifs de l'évaluation préalable demeurent la responsabilité de Santé Canada et d'Environnement et Changement climatique Canada.

La présente ébauche d'évaluation préalable est fondée sur des renseignements essentiels pour déterminer si les substances répondent aux critères énoncés à l'article 64 de la LCPE, en examinant des données scientifiques et en suivant une approche basée sur le poids de la preuve et le principe de précaution.<sup>3</sup> Dans la

---

<sup>3</sup>Pour déterminer si un ou plusieurs des critères de l'article 64 de la LCPE sont satisfaits, on se fonde sur une évaluation des risques potentiels pour l'environnement et/ou la santé humaine associés à l'exposition dans l'environnement général. Pour les êtres humains, l'exposition découle de la présence de la substance notamment dans l'air ambiant, dont l'air intérieur, l'eau potable, les aliments et les produits de consommation. Une conclusion établie aux termes de la LCPE n'est pas pertinente pour une évaluation en fonction des critères de risque prévus au *Règlement sur les produits dangereux*, lequel fait partie du cadre réglementaire pour le Système d'information sur les matières dangereuses utilisées au travail (SIMDUT) et vise les produits dangereux destinés à être utilisés au travail,

présente ébauche d'évaluation préalable, nous présentons les données et les considérations essentielles sur lesquelles sont basées les conclusions proposées.

## 2. Identité des substances

Le **Error! Reference source not found.** présente le n° CAS, le nom figurant sur la Liste intérieure des substances (LIS) et le nom commun des substances du groupe des cokes de pétrole.

Le coke (pétrole) est un résidu riche en carbone, sous-produit du procédé de conversion thermique du raffinage du pétrole brut et de la valorisation du sable bitumineux au Canada. En chauffant du coke (pétrole) pour en libérer les produits volatils, on produit du coke calciné (pétrole). Le terme « groupe des cokes de pétrole » est utilisé pour désigner les propriétés du coke (pétrole) et du coke calciné (pétrole). Le terme « coke de pétrole » est utilisé pour désigner les mélanges non spécifiés de coke de pétrole (tels que les piles de stockage à l'extérieur).

**Tableau 2-1. Identité des deux substances du groupe des cokes de pétrole**

N° CAS	Nom sur la LIS	Nom commun
64741-79-3	Coke (pétrole)	coke (pétrole)
64743-05-1	Coke calciné (pétrole)	coke calciné (pétrole)

La teneur en matières volatiles et en impuretés résiduelles du coke (pétrole) est plus élevée que celle du coke calciné (pétrole). Le coke (pétrole) est utilisé comme combustible, tandis que le coke calciné (pétrole) a de multiples usages, notamment la production d'aluminium et d'acier.

Les substances du groupe des cokes de pétrole sont des UVCB. Elles proviennent de sources naturelles ou de réactions complexes et ne peuvent être obtenues facilement par la simple synthèse avec des composants individuels. Les caractéristiques de chaque lot de coke de pétrole sont déterminées par la composition des matières premières, ainsi que le type de procédé et les conditions de cokéfaction (Hill et coll. 2014).

Le coke (pétrole) est une matière solide carbonée noire et polycristalline qui est un sous-produit du procédé de cokéfaction du pétrole brut et de la valorisation des sables bitumineux (Hill et coll. 2014). Les distillats sous vide de pétrole ou les distillats lourds sont chauffés sous haute pression (90 psi) à des températures de craquage thermique

---

ni n'empêche une telle évaluation. De même, une conclusion s'appuyant sur les critères énoncés à l'article 64 de la LCPE n'empêche pas la prise de mesures en vertu d'autres articles de la LCPE ou d'autres lois.

(415 °C à 505 °C) pour les transformer en vapeurs de pétrole et en coke solide résiduel (Ellis et Paul 1998, API 2008, USEPA 2011, McKee et coll. 2014, Speight 2014). Les principales technologies de cokéfaction comprennent la cokéfaction retardée (un procédé par demi-lots) et la cokéfaction fluide (un procédé continu réalisé à des températures plus élevées) (Hill et coll. 2014). Le coke (pétrole) résiduel contient les fractions les plus lourdes et les plus pauvres en hydrogène de la matière première du pétrole, c'est-à-dire les asphaltènes et les résines, essentiellement tous les métaux et toutes les cendres utilisés comme sources, ainsi qu'une grande partie du soufre et de l'azote présents dans la composition de la matière première (Parkash 2010). Le coke (pétrole) a une densité faible et contient généralement de 2 à 15 % en poids de matières volatiles, mais il peut en contenir jusqu'à 21 % en poids (Al-Haj-Ibrahim et Morsi 1992; CONCAWE 1993).

Les matières volatiles contenues dans la matrice carbonée du coke (pétrole) sont constituées principalement d'hydrocarbures, dont certains HAP (CONCAWE 1993). Des analyses du coke (pétrole) ont permis de détecter des composés aromatiques polycycliques, y compris les HAP d'origine et les HAP alkylés suivants : le naphtalène, le méthyl-1naphtalène, le méthyl-2naphtalène, l'acénaphthène, l'acénaphtylène, le fluorène, le phénanthrène, l'antracène, le pyrène, le benzo[a]pyrène, le benzo[e]pyrène, le benzo[g,h,i]pérylène, le benzo[a]anthracène, le benzo[a,b]anthracène, le dibenzo[a,h]anthracène, le chrysène, le benzo[b]fluoranthène, le benzo[k]fluoranthène, le phénanthrène, le méthylbenzo[a]pyrène, le fluor et l'indéno[1,2,3-cd]pyrène et le méthylbenzo[g,h,i]pérylène (CONCAWE 1993; Dalbey et coll. 1998; API 2008; Jongeneelen et coll. 1989; Predel 2014; Chibwe et coll. 2019).

La matrice de carbone du coke (pétrole) contient également des composants inorganiques. Le soufre s'y trouve principalement sous forme organique fixé à la matrice de carbone, tandis que le fer, le silicium et les cendres y sont sous forme de particules (Al-Haj-Ibrahim et Morsi 1992; API 2008; Ellis et Paul 1998). D'autres métaux tels que le vanadium et le nickel sont présents dans la fraction asphaltène sous forme de chélates ou de porphyrines, ou dans les cendres et les particules sans lien chimique à la structure du coke (Ellis et Paul 2000a; 2000b).

La composition des substances du groupe des cokes de pétrole varie en fonction de la matière première et du procédé de cokéfaction utilisés (CONCAWE 1993). Les plages typiques de la teneur en composants des substances du groupe des cokes de pétrole sont fournies dans le tableau 2-2. Par ailleurs, la présence d'autres éléments tels que le silicium, l'aluminium et le bore en tant que composants du coke de pétrole a également été rapportée, tandis que les métaux lourds peuvent être présents à de faibles concentrations en tant que composants des cendres (API 2008).

**Tableau 2-2. Plages typiques de la teneur en composants du coke de pétrole**

Propriété	Plage	Unité <sup>a</sup>	Référence
Carbone	84 – 97	%	CONCAWE 1993
Hydrogène	Jusqu'à 5	%	CONCAWE 1993

Propriété	Plage	Unité <sup>a</sup>	Référence
Cendre	0,03 – 7	% en poids	Lee et coll. 1997; gouvernement de l'Alberta 2018
Matières volatiles	2 – 15	%	CONCAWE 1993
HAP	100 – 250	mg/kg	Jongeneelen et coll. 1989; Predel 2014
Soufre	0,2 – 6	%	CONCAWE 1993
Nickel	10 – 3000	mg/kg	CONCAWE 1993
Vanadium	5 – 5000	mg/kg	CONCAWE 1993
Fer	50 – 2000	mg/kg	CONCAWE 1993

<sup>a</sup> Les unités sont celles indiquées par les auteurs.

En chauffant davantage le coke (pétrole) à des températures élevées (1200 °C à 1350 °C) pour libérer les composants volatils, on obtient du coke calciné (API 2008). La densité, la résistance mécanique et la conductivité électrique du coke calciné sont plus élevées que la matière première, le coke (pétrole) (Parkash 2010). Les pores de la matrice de carbone du coke (pétrole) sont occupés par un résidu d'hydrocarbure durci, dont la distillation se fait pendant la calcination pour produire du coke calciné (Al-Haj-Ibrahim et Morsi 1992; API 2008). Le processus de calcination élimine l'humidité et réduit les matières volatiles à moins de 0,25 % en poids (Lee et coll. 1997), tout en augmentant la résistance physique et la conductivité électrique (Ellis et Paul 2000a). Ainsi, le pourcentage de carbone élémentaire (API 2008) et les concentrations de métaux dans le coke calciné sont également plus élevés que dans le coke (pétrole) (Sun et coll. 2009).

Un récapitulatif des caractéristiques du coke calciné utilisé dans la métallurgie est présenté dans le tableau 2-3. Il convient de noter que, malgré la calcination (qui augmente la proportion relative des métaux), les concentrations maximales rapportées des métaux sont inférieures à celles du tableau 2-2 en raison de la pratique consistant à sélectionner des matières premières de coke (pétrole) à faible teneur en métaux pour la calcination (Lee et coll. 1997).

**Tableau 2-2. Plages typiques de la teneur en composants caractéristiques du coke calciné (d'après Lee et coll. 1997)**

Propriété	Plage	Unité <sup>a</sup>
Cendre	0,1-0,3	% en poids
Matières volatiles	< 0,25	% en poids
Soufre	1,7-3,0	% en poids
Nickel	120-350	mg/kg
Vanadium	165-350	mg/kg

<sup>a</sup> Unités transformées au besoin pour faciliter la déclaration.

### 3. Propriétés physiques et chimiques

Les propriétés physico-chimiques typiques du groupe des cokes de pétrole sont difficiles à déterminer, car les points de fusion et d'ébullition sont élevés, et les pressions de vapeur sont très faibles et ne peuvent être mesurées ou estimées avec précision dans les conditions environnementales ambiantes (API 2008; USEPA 2011). La solubilité dans l'eau du groupe des cokes de pétrole est également insuffisante pour déterminer un coefficient de partage octanol-eau (API 2008). Les concentrations mesurées des composants hydrocarbures et inorganiques du coke (pétrole) dans les extraits aqueux sont généralement inférieures aux concentrations détectables : 5 µg/L pour la fraction organique, 0,4 µg/L à 200 µg/L pour les métaux et 5,1 mg/L pour le soufre (Wildlife International Ltd. 2007a; 2007b; 2007c). La pression de vapeur et la solubilité dans l'eau du groupe des cokes de pétrole devraient être négligeables (USEPA 2011). La masse volumique apparente du coke (pétrole) et du coke calciné varie respectivement de 0,8 à 1,4 g/cm<sup>3</sup> et de 0,80 à 0,88 g/cm<sup>3</sup> (Lee et coll. 1997).

### 4. Sources et utilisations

Un aperçu des données communiquées par Statistique Canada (2020) sur l'approvisionnement et l'utilisation des cokes de pétrole provenant des raffineries au Canada pour 2012 et 2016 est présenté dans les tableaux 4.1 et 4.2. Les cokes de pétrole sont principalement produits et stockés en Alberta, où les stocks tendent à augmenter. Les taux de production de coke de pétrole en Alberta varient de 8,6 à 10,1 millions de tonnes par an ( $\sim 11 \times 10^6$  m<sup>3</sup> à  $13 \times 10^6$  m<sup>3</sup>) entre 2013 et 2017 (REA 2013, 2014, 2015, 2016, 2017a). Par ailleurs, le volume total de coke de pétrole en stock est passé de 84 millions de tonnes ( $\sim 11 \times 10^7$  m<sup>3</sup>) en 2013 à 113 millions de tonnes ( $\sim 14 \times 10^7$  m<sup>3</sup>) en 2017 (AER 2018).

**Tableau 4-1. Approvisionnement et utilisation de cokes de pétrole au Canada en 2012, en milliers de mètres cubes (Statistique Canada 2020)<sup>a</sup>**

Paramètre	Québec	Ontario	Alberta	Autres provinces et territoires	Total au Canada
Production des raffineries	s.o.	435,2	344,9	s.o.	1272,0
Exportations	s.o.	26,3	0	s.o.	85,9
Importations	s.o.	302,4	4,6	s.o.	1678,5
Transferts interrégionaux <sup>b</sup>	s.o.	-28,6	0	s.o.	0
Total des ventes intérieures	805,0	470,2	230,9	668,9	2175,0

Abréviations : s. o., sans objet.

<sup>a</sup> Données déclarées par les raffineries au Canada et les principaux grossistes/distributeurs (Statistique Canada 2013).

<sup>b</sup> Les valeurs négatives (-) indiquent un transfert hors province. Les valeurs positives indiquent des transferts dans une province.

**Tableau 4-1. Approvisionnement et utilisation de cokes de pétrole au Canada en 2016, en milliers de mètres cubes (Statistique Canada 2020)<sup>a</sup>**

Paramètre	Atlantique	Québec	Ontario	Alberta	Total au Canada
Production des raffineries	s. o.	s. o.	> 82 <sup>b</sup>	> 147 <sup>b</sup>	1020 <sup>b</sup>
Exportations	NA	0	> 15 <sup>b</sup>	0	32 <sup>b</sup>
Importations	> 335 <sup>b</sup>	532	> 771 <sup>b</sup>	0,745	> 2028 <sup>b</sup>
Transferts interrégionaux <sup>b</sup>	0	42 <sup>b</sup>	-48 <sup>c</sup>	0	48

Abréviations : s. o., sans objet.

<sup>a</sup> Données déclarées par les raffineries au Canada et les principaux grossistes/distributeurs (Statistique Canada 2013).

<sup>b</sup> Les données annuelles marquées d'un « > » indiquent que les données n'étaient pas disponibles certains mois. <sup>c</sup> Les valeurs négatives (-) indiquent un transfert hors province. Les valeurs positives indiquent des transferts dans une province.

Les matières premières des flux pétroliers peuvent être transformées en coke (pétrole) à une proportion pouvant atteindre 60 % (en poids) (Speight 2014). Jusqu'en 2008, les exploitants de sables bitumineux de l'Alberta avaient produit 60 millions de tonnes ( $\sim 8107 \text{ m}^3$ ) de coke (pétrole) (Baker et coll. 2012). En 2011, ensemble l'Alberta et la Saskatchewan ont produit près de 9 millions de tonnes ( $\sim 1 \times 10^7 \text{ m}^3$ ) de coke (pétrole) dans leurs usines de valorisation (Stockman 2013). Fedorak et Coy (2006) ont estimé que, au cours de la durée de vie des activités d'extraction des sables bitumineux, la production de coke (pétrole) sera de 1 milliard de  $\text{m}^3$ .

Entre janvier 2011 et septembre 2012, le Canada a importé près de 3,4 millions de tonnes de coke (pétrole) ( $\sim 4 \times 10^6 \text{ m}^3$ ) des États-Unis pour utilisation en tant que carburant et dans la fabrication de produits (Stockman 2013). De 2013 à 2016, les importations annuelles de coke de pétrole du Canada en provenance des États-Unis ont diminué d'environ 1,9 million de tonnes à 1,3 million de tonnes par an ( $\sim 24 \times 10^5 \text{ m}^3$  à  $16 \times 10^5 \text{ m}^3$ ) (EIA 2017). Dans le monde, environ 80 % du coke de pétrole produit est utilisé comme combustible (dans la production d'électricité, les fours à ciment et d'autres industries). Le coke de pétrole est également utilisé dans la fabrication de produits tels que l'aluminium, les peintures, les enduits, les colorants, l'acier, le papier et les engrains (National Association of Manufacturers 2015).

Une enquête menée conformément à un avis publié en vertu de l'article 71 de la LCPE (ECCC 2016a) concernant les deux substances du groupe des cokes de pétrole a été réalisée et une recherche de données dans le domaine public a été effectuée. Les réponses à une enquête menée en vertu de l'article 71 de la LCPE indiquent que le coke de pétrole est utilisé dans un certain nombre d'autres industries, en plus des utilisations générales telles que la production d'aluminium, de nickel, de cuivre et

d'acier, et l'utilisation dans la fabrication des électrodes en carbone, voir le tableau 4.3 (CCCE 2016a). Au Canada, une partie du coke de pétrole produit est utilisée sur place comme combustible dans les installations d'extraction et de valorisation des mines et les raffineries, ou vendue. Cependant, la plus grande partie est stockée (ERCB 2011) en vue d'une utilisation future. Selon la réglementation de l'Alberta Energy and Utilities Board, le coke doit être stocké sur place pour être récupéré ultérieurement, car il s'agit d'un combustible potentiel (Puttaswamy et coll. 2010; Fedorak et Coy 2006). En 2016, environ 10 % du coke (pétrole) produit par les usines de valorisation en Alberta était utilisé sur place comme combustible, tandis qu'environ 90 % étaient stockés (AER 2017b). Depuis l'an 2000, la quantité de coke (pétrole) utilisée dans le secteur manufacturier canadien (y compris les raffineries et les usines de valorisation) s'élève en moyenne à environ 2 millions de tonnes par an (Stockman 2013).

**Tableau 4-2.** Utilisations du coke de pétrole au Canada selon les informations reçues en réponse à une enquête menée en vertu de l'article 71 de la LCPE (Environnement Canada 2016a) et autres sources.

Substance [N° CAS]	Utilisations
Coke (pétrole) [64741-79-3]	-Production primaire d'alumine et d'aluminium -Sidérurgie -Raffineries de pétrole -Matériau de construction en argile et fabrication des métaux réfractaires -Carburant et additif pour carburants -Remplissage des électrodes en carbone
Coke calciné (pétrole) [64743-05-1]	-Production primaire d'alumine et d'aluminium -Sidérurgie -Fabrication de produits abrasifs -Fonte et affinage des métaux non ferreux (sauf l'aluminium) -Intermédiaires -Production de billettes et de tiges de bobine en acier au carbone -Agent réducteur de la fusion pyrométallurgique pour la fabrication de lingots de plomb brut -Piles -Produit de remplissage des électrodes en carbone utilisées dans la fusion de l'aluminium -Fabrication d'anodes -Grain abrasif constituant le composant principal des meules -Intermédiaires de fusion du nickel et du cuivre et nickel raffiné

De plus, le coke (pétrole) peut être mélangé à l'eau de procédé des sables bitumineux (Jensen-Fontaine et coll. 2014; Fedorak et Coy 2006), comme médium potentiel de la remise en état des bassins de résidus miniers (Hill et coll. 2014). La majorité des exploitants de mines de sables bitumineux ont l'intention d'utiliser le coke stocké dans les procédés de remise en état (AER 2017b). En 2009, un projet pilote a été entamé

dans le but de s'occuper des résidus miniers à Wapisiw Lookout (bassin 1 de Suncor) en utilisant des bouchons de coke de pétrole. En 2018, ce projet s'est étendu à d'autres sites (bassin 5 de Suncor) (Suncor 2018). Par ailleurs, une étude a commencé au site de sables bitumineux de Mildred Lake dans le but d'évaluer l'utilisation du coke de pétrole pour filtrer et détoxifier les eaux résiduelles (COSIA 2017). Des travaux de recherche ont été effectués sur les utilisations potentielles du coke de pétrole, notamment comme matériau de construction de milieux humides remis en état (Baker et coll. 2012), ainsi que sur son intégration aux paysages terrestres et aquatiques des plans de fermeture des installations d'extraction de sables bitumineux, son stockage à long terme et sa récupération future (Puttaswamy et coll. 2010).

Aucune utilisation du coke de pétrole dans les aliments, les produits de santé naturels, les cosmétiques ou les médicaments à usage vétérinaire, ou comme matière active ou produit de formulation dans des produits antiparasitaires n'a été rapportée (communication personnelle, courriel de la Direction des aliments de Santé Canada adressé au Bureau de l'évaluation des risques des substances existantes de Santé Canada, 10 juillet 2018; sans référence; base de données sur les ingrédients des produits de santé naturels, 2018, Ottawa, Ont. : Santé Canada; base de données des produits de santé naturels homologués, 2016, Ottawa, Ont. : Santé Canada; communication personnelle, courriel de la Direction des produits de santé naturels et sans ordonnance de Santé Canada, adressé au Bureau de l'évaluation des risques des substances existantes de Santé Canada, 11 juillet 2018; sans référence; communication personnelle, courriel de la Direction de la sécurité des produits de consommation de Santé Canada adressé au Bureau de l'évaluation du risque des substances existantes de Santé Canada, 29 juin 2018; sans référence; Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire de Santé Canada : Liste des produits de formulation, publiée le 31 août 2010).]

## **5. Libération et rejets dans l'environnement**

Le coke de pétrole peut être libéré dans l'environnement pendant son stockage ou son transport ou être rejeté au cours de son utilisation commerciale ou industrielle. Toutefois, étant donné sa solubilité dans l'eau et sa pression de vapeur négligeables, il ne devrait pas être facilement biodisponible pour les organismes.

Les rejets de coke de pétrole dans l'environnement par les secteurs industriels et commerciaux canadiens (autres que la production de pétrole et de gaz) ne devraient pas être importants. Le coke de pétrole y est utilisé comme intermédiaire de traitement, incorporé directement dans des produits ou encore brûlé comme combustible. En conséquence, le coke de pétrole est soit consommé sur place soit traité en tant que constituant de produits desquels la libération dans l'environnement devrait être plus faible étant donné leur utilisation attendue. Les quantités destinées à l'utilisation industrielle ou commerciale devraient également être négligeables par rapport aux grandes quantités stockées en plein air comme sous-produit de la production de pétrole et de gaz.

En Alberta, la majeure partie du coke (pétrole) produit par le traitement du bitume est stocké sur place dans de grandes cellules de confinement ou en forme de piles de stockage extérieures exposées au milieu naturel (Puttaswamy et coll. 2010; Fedorak et Coy 2006). Le coke (pétrole) pourrait être libéré par ruissellement ou par émissions fugitives de poussière dans l'air où il peut être transporté par le vent et se déposer sur le sol ou l'eau. Pour réduire les émissions potentielles de coke de pétrole dans l'air sous forme de poussière fugitive, l'API (2014) propose des pratiques visant à maintenir une humidité optimale par mouillage à l'eau ou application d'agents chimiques anti-poussière, en plus des enceintes et des pare-vent.

Le coke de pétrole est transporté par fret maritime, sur des barges, par rail et par camion, où les conditions sont propices aux émissions fugitives de poussière dans l'air. Les mesures suggérées pour réduire au minimum ces émissions comprennent le mouillage, l'application d'agents anti-poussières, le recouvrement des zones de chargement et le lavage des camions avec gestion des eaux de lavage (API 2014).

Les composants dangereux du coke de pétrole, tels que les métaux lourds et les HAP, peuvent être libérés ou rejetés dans l'environnement à l'état de trace. Les composants contenant des métaux lourds à l'état de trace peuvent être rejetés dans l'air lors de la combustion du coke de pétrole. Ils peuvent également être libérés dans l'eau et le sol par les lixiviats des piles de stockage ou encore suite à l'utilisation de coke de pétrole dans des projets d'assainissement (Puttaswamy et coll. 2010). Les composants d'HAP peuvent être rejetés dans l'air lors de la combustion du coke de pétrole, sa calcination ultérieure, son utilisation en métallurgie ou encore libérés par les particules des piles de stockages emportées par le vent (Zhang et coll. 2016a). La poussière fugitive provenant des piles de stockage de coke de pétrole de la région des sables bitumineux de l'Alberta contribue également en majeure partie au dépôt atmosphérique, en particulier pendant les mois d'hiver (Gopalapillai et coll. 2019).

## 6. Devenir et comportement dans l'environnement

La répartition et le transport des particules de coke de pétrole dans l'environnement dépendront de leur taille et de leur densité (API 2008). En cas de rejet ou de libération dans l'eau, le coke de pétrole devrait être incorporé dans les sédiments ou flotter à la surface (API 2008), car il est non soluble dans l'eau. En cas de rejet ou de libération terrestre, les substances du coke de pétrole devraient s'incorporer dans le sol et y être peu mobiles (USEPA 2011) ou être transportées par le vent ou les eaux de surface. Comme le coke de pétrole est un solide, les composants carbonés de ses particules ne devraient pas se volatiliser dans l'air. Toutefois, s'ils sont rejetés dans l'air sous forme de poussières fugitives (API 2014), il est probable qu'ils soient transportés par le vent et qu'ils se déposent sur le sol ou dans l'eau.

Il est peu probable que les hydrocarbures présents dans le coke (pétrole) entrent en réaction photochimique directe ou indirecte, subissent une hydrolyse ou soient

dégradés par des micro-organismes (API 2008). Grâce à sa structure carbonée compacte, le coke de pétrole devrait présenter une grande stabilité chimique dans l'environnement (USEPA 2011). Étant donné sa composition et ses propriétés physico-chimiques, il est peu probable qu'il soit soumis à une dégradation abiotique et à une biodégradation. Compte tenu du poids moléculaire supposé élevé de la matrice de carbone (USEPA 2011), le potentiel de bioaccumulation des substances du groupe des cokes de pétrole devrait être très faible. Par ailleurs, les composants du coke de pétrole qui sont intégrés dans la matrice de carbone devraient également avoir une biodisponibilité plus faible que celle des formes non fixées.

## 7. Potentiel de causer des effets nocifs pour l'environnement

### 7.1 Évaluation des effets sur l'environnement

#### 7.1.1 Effets sur les organismes aquatiques

En raison de la faible solubilité du coke de pétrole dans l'eau, les essais en laboratoire réalisés en milieu aquatique ont été effectués à l'aide des fractions adaptées à l'eau (FAE). Des essais sur la limite de tolérance utilisant 1000 mg/L de coke (pétrole) ont été effectués sur des algues, des invertébrés aquatiques et des poissons. Un aperçu des principales études de toxicité aquatique du coke (pétrole) est présenté dans le tableau 7-1. Aucun effet sur les poissons ou les invertébrés n'a été rapporté, mais le taux de charge sans effet observé (TCSEO) à 96 heures pour l'espèce d'algue *Raphidocelis subcapitata* (anciennement *Selenastrum capricornutum*) a été rapporté comme étant inférieur à 1000 mg/L, taux auquel une légère inhibition de la croissance a été observée à la dose unique de 1000 mg/L. Aucun effet similaire n'a cependant été observé dans les études antérieures visant à déterminer la toxicité (Wildlife International Ltd 2007a).

**Tableau 7-1. Principales études de toxicité du coke (pétrole) en milieu aquatique**

Nom commun	Organisme d'essai	Paramètre toxicologique	Valeur (mg/L)	Référence
Algue	<i>Raphidocelis subcapitata</i> (anciennement <i>Selenastrum capricornutum</i> )	TCSEO à 96 h Densité des cellules, biomasse, taux de croissance	< 1000	Wildlife International, Ltd. 2007a
Cladocère	<i>Daphnia magna</i>	TCSEO à 48 h Immobilisation	1000	Wildlife International, Ltd. 2007 b
Tête-de-boule	<i>Pimephales promelas</i>	TCSEO à 96 h	1000	Wildlife International, Ltd. 2007c

Puttaswamy et coll. (2010) ont relevé des effets nocifs aigus sur *Ceriodaphnia dubia* à la suite de l'exposition à des lixiviats de coke de pétrole recueillis par des lysimètres sur le terrain dans des piles de stockage extérieures. Deux lysimètres ont été placés dans des zones excavées d'un dépôt de coke. Des échantillons de lixiviat ont été prélevés périodiquement à l'aide d'un lysimètre situé à une faible profondeur (recouvert de 50 cm de till glaciaire et de terre de surface minérale de tourbe) et d'un lysimètre placé profondément (recouvert de 100 cm de till et de sol tourbeux) aux fins de réalisation de tests de toxicité. Des effets nocifs aigus ont été observés chez *C. dubia* après exposition à des échantillons de lixiviat non dilués. La concentration létale pour 50 % de la population ( $CL_{50}$ ) à 7 jours était comprise entre 12,5 % et 21,8 % v/v pour les lixiviats du lysimètre peu profond et entre 7,2 % et 14,4 % v/v pour les lixiviats du lysimètre profond. L'analyse des lixiviats a permis d'attribuer les effets nocifs observés à des concentrations plus faibles (< 25 % v/v) au nickel et au vanadium, libérés du coke de pétrole. Dans une étude ultérieure de toxicité chronique en laboratoire (Puttaswamy 2011), il a été déterminé que le nickel et le vanadium étaient tous deux à l'origine des effets nocifs sur *C. dubia*. Le pH des lixiviats a également été un facteur d'influence sur la toxicité observée, le vanadium étant la principale cause de toxicité à pH 9,5, tandis que le nickel et le vanadium ont tous deux été identifiés comme les principaux éléments toxiques à pH 5,5.

Le taux de survie des embryons de têtes-de-boule (*Pimephales promelas*) a été réduit par leur exposition à des échantillons de neige fondue prélevés dans des sites situés à plus de 7 km des exploitations minières et des piles de stockage de coke de pétrole le long de la rivière Athabasca (Parrot et coll. 2018). Les échantillons de neige contenaient des poussières fugitives accumulées par dépôt atmosphérique au cours des saisons hivernales (durées de 4 à 5 mois). Les échantillons de neige ont été fondus et les embryons et les larves écloses de tête-de-boule ont été exposés pendant 12 à 21 jours à l'eau de fonte des neiges à ions ajustés. La réduction du taux de survie des larves de tête-de-boule exposées a été corrélée à la somme des concentrations d'HAP alkylés aux effets nocifs produits dans la plage de 2 à 20 mg/L. Il convient de noter qu'aucun effet sur le taux de survie n'a été observé lors des tests sur les eaux de fonte du printemps recueillies dans les mêmes zones. Les contaminants présents dans la neige semblent être suffisamment dilués par l'eau de la rivière Athabasca pendant la période de fonte printanière pour ne plus produire d'effets nocifs.

Les effets physiques tels que l'obstruction des branchies et l'enfouissement d'organismes vivant dans les sédiments peuvent être préoccupants pour les milieux aquatiques (Dimond 2013).

### 7.1.2 Effets sur les organismes terrestres

Les principales études de toxicité du sol pour les substances du coke de pétrole sont récapitulées dans le **Error! Reference source not found.** Des études de laboratoire sur les organismes terrestres ont été réalisées avec du coke (pétrole) incorporé directement dans du sol artificiel à une concentration de 1000 mg/kg (concentration

nominale). Aucun effet n'a été observé chez les espèces de végétaux ou de lombrics soumises à l'essai.

**Tableau 7-2. Principales études de toxicité du coke (pétrole) pour le sol**

Nom commun	Organisme à l'essai	Paramètre de référence	Valeur (mg/L)	Référence
Ver de compost	<i>Eisenia fetida</i>	CSEO à 14 j	1000	Wildlife International, Ltd. 2007d
Maïs	<i>Zea mays</i>	CSEO à 21 j levée, croissance	1000	Wildlife International, Ltd. 2007e
Radis	<i>Raphanaus sativus</i>	CSEO à 21 j levée, croissance	1000	Wildlife International, Ltd. 2007e
Soja	<i>Glycine max</i>	CSEO à 21 j levée, croissance	1000	Wildlife International, Ltd. 2007e

Abréviation : CSEO, concentration sans effet observé

Dans leurs études sur le terrain, Nakata et coll. (2011) ont constaté que certaines plantes pouvaient survivre dans le coke de pétrole, mais en présentant des signes de stress. Par ailleurs, des concentrations potentiellement phytotoxiques de nickel et de vanadium ont été relevées dans certains tissus végétaux. Le molybdène, un métal lourd, s'est accumulé dans les pousses à des concentrations qui, d'après des rapports antérieurs, causaient la molybdénose chez les ruminants.

## 7.2 Évaluation de l'exposition de l'environnement

Il est impossible de mesurer avec exactitude la concentration des substances UVCB, telles que le coke de pétrole, dans les milieux de l'environnement. On mesure fréquemment les composants du coke de pétrole, tels que les HAP et les métaux, car ils ont une incidence sur l'environnement. Bien que les substances du groupe des cokes de pétrole soient utilisées dans la fabrication de produits comme l'aluminium, ce sont les stocks extérieurs de coke de pétrole qui constituent la principale préoccupation en matière d'exposition de l'environnement. Les stocks de coke de pétrole ont été reconnus comme la principale source (contribution à 45 % à 95 %) de dépôt atmosphérique d'HAP dans les mousses vivantes de la région des sables bitumineux de l'Alberta (Zhang et coll. 2016a). La concentration totale de 13 HAP parents (sans aucune chaîne alkyle latérale) (le fluorène, le phénanthrène, l'anthracène, le fluoranthène, le pyrène, benzo[a]anthracène, le chrysène, le benzo[b]fluoranthène, le benzo[k,j]fluoranthène, le benzo[a]pyrène, l'indéno[1,2,3-cd]pyrène, le benzo[g,h,i]pérylène, le dibenz[a,h]anthracène) dans des échantillons de mousse variait de 28,7 à 389 ng/g en poids sec et de 0,036 à 76,9 µg/m<sup>2</sup> dans des échantillons de neige. La concentration totale des 13 HAP parents dans les 6 cm de la couche

supérieure des carottes de tourbe s'est élevée à 260 à 370 ng/g en poids sec (Zhang et coll. 2016a; 2016 b). Les concentrations des 16 HAP jugés prioritaires par l'US EPA étaient inférieures à 0,05 ug/L dans les lixiviats de coke de pétrole recueillis sur le terrain dans les lysimètres installés dans la région des sables bitumineux de l'Alberta (Puttaswamy et coll. 2011).

L'exposition aux composants des HAP qui sont rejetés dans l'air lors de la combustion du coke de pétrole, de la calcination ultérieure ou de l'utilisation dans le secteur métallurgique a déjà été évaluée (Environnement Canada, Santé Canada 1994). Les particules fines de coke de pétrole qui proviennent du procédé de cokéfaction retardée peuvent contenir jusqu'à 80 µg/g des 16 HAP désignés comme prioritaires par l'US EPA (Jautzy et coll. 2015). L'analyse isotopique des HAP dans les sédiments lacustres a révélé que le coke de pétrole peut être soumis au transport atmosphérique à grande distance; il s'agit là d'une source de contamination par les HAP jusqu'à 150 km de l'origine (Jautzy et coll. 2015). Par ailleurs, une étude des concentrations de métaux et d'HAP dans les échantillons d'air prélevés dans la région des sables bitumineux de l'Alberta a révélé que la poussière de cokéfaction retardée de coke de pétrole est une source de benzo[a] pyrène et de vanadium atmosphériques (Xu 2018). Ce point est examiné plus en détail dans la section 8.1.1.1.

Les concentrations d'HAP liés au coke de pétrole produit par cokéfaction retardée, mesurées dans les mousses, se sont avérées beaucoup plus élevées sur les sites les plus proches de l'activité de valorisation du bitume que sur les sites situés plus loin (Zhang et coll. 2016a). Les rejets de composants du coke de pétrole dans l'air ne seront pas davantage traités dans la partie de l'évaluation préalable consacrée à la protection de l'environnement. Toutefois, les données sur les effets des rejets atmosphériques sur la santé humaine sont examinées plus en détail dans la section 8.3.

Certaines études ont également démontré que des métaux, en particulier le vanadium et le nickel (Nesbitt et coll. 2017), peuvent être lessivés à partir du coke de pétrole (Squires 2005; Kessler et Hendry 2006; Puttaswamy et coll. 2010; Puttaswamy et coll. 2011). Une étude *in situ* sur le microcosme (Baker et coll. 2012) évaluant l'effet potentiel du coke de pétrole utilisé comme matériau pour la remise en état de milieux humides a relevé des concentrations accrues de métaux à l'état de trace (vanadium, nickel, lanthane et yttrium) dans les tissus des algues macrophytes (*Chara spp.*) cultivées en présence de coke de pétrole et de résidus de production de bitume. Il a été noté que le nickel se mesurait à des concentrations 1,5 fois plus élevées dans les traitements de coke de pétrole que dans les traitements des sédiments naturels.

Les concentrations dans l'environnement des HAP d'intérêt prioritaire (HAP identifiés dans les recommandations du Conseil canadien des ministres de l'environnement [CCME]), ainsi que du nickel et du vanadium à proximité des installations de traitement du coke de pétrole et des stocks situés le long de la rivière Athabasca, obtenues dans le cadre des programmes Regional Aquatics Monitoring Program (RAMP 2019a) et Joint Canada-Alberta Implementation Plan for Oil Sands Monitoring (JOSM 2019) de la

région des sables bitumineux de l'Alberta, sont présentées dans les tableaux 7-3 et 7-4. Les concentrations dans les eaux de surface et les sédiments ont été surveillées dans trois tronçons de la rivière Athabasca : en amont, en aval et à proximité de la pile de stockage (coke de pétrole) de qualité carburant de Tar Island (Suncor 2019). Les distances entre les postes de surveillance et la pile de stockage varient selon l'ensemble de données et la matrice analysée (voir annexe A, Aperçu des données des postes de surveillance environnementale de la rivière Athabasca). Étant donné le volume important des stocks de coke de pétrole de Tar Island et la proximité immédiate de la rivière Athabasca, l'analyse réalisée à l'aide des données de surveillance de la rivière Athabasca provenant de la région des sables bitumineux de l'Alberta a permis de déterminer que le potentiel de rejet de composants du coke de pétrole (HAP, Ni et V) dans l'environnement au Canada est le plus élevé. En outre, les concentrations environnementales des composants métalliques figurant dans la présente évaluation représentent les concentrations mesurées des métaux totaux, et non celles des métaux dissous. Cette approche est jugée plus prudente, car certains des métaux non dissous ne seraient pas biodisponibles.

Conformément à l'approche décrite dans Environnement Canada et Santé Canada (2016), le choix des HAP dosés a été limité aux composants indiqués dans le tableau 7-6. Les HAP ont été sélectionnés pour un dosage en raison de leur présence dans le coke de pétrole, de la disponibilité des données de surveillance et des valeurs des recommandations environnementales associées. Bien que les tableaux 7-3 et 7-4 présentent des intervalles de concentrations totales des HAP, des données sur les différents HAP sélectionnés dans différents sites et à différentes dates d'échantillonnage étaient disponibles et ont été utilisées dans les analyses ultérieures. Notez que tous les HAP n'ont pas été nécessairement mesurés à chaque site et à chaque date d'échantillonnage. Les sites et les dates d'échantillonnage pour lesquelles aucune donnée n'a été déclarée ont été exclus de l'analyse.

**Tableau 7-3. Concentrations d'HAP et de métaux dans les eaux de surface à proximité d'installations de traitement de coke de pétrole et de piles de stockage**

Analyte	Emplacement	Concentration (ng/L)
HAP	En amont	0,05-2250
HAP	Adjacent	0,08-273
HAP	En aval	0,08-316
Ni (total)	En amont	0,01-19,7
Ni (total)	Adjacent	0,01-13,7
Ni (total)	En aval	0,16-16,8
V (total)	En amont	0,20-23,2
V (total)	Adjacent	0,24-17,8
V (total)	En aval	0,19-23,4

**Tableau 7-4. Concentrations d'HAP et de métaux dans les sédiments à proximité d'installations de traitement de coke de pétrole et de piles de stockage**

Analyte	Emplacement	Concentration ( $\mu\text{g/kg}$ )
HAP	En amont	0,02-665
HAP	Adjacent	0,02-92
HAP	En aval	0,05-36
Ni (total)	En amont	5,0-27,7
Ni (total)	Adjacent	3,9-27,2
Ni (total)	En aval	4,0-32,6
V (total)	En amont	5,0-28,0
V (total)	Adjacent	4,2-31,0
V (total)	En aval	4,0-42,1

Les concentrations d'HAP mesurées dans les eaux de surface et les sédiments étaient les plus élevées au poste de surveillance situé en amont. La concentration de naphtalène mesurée dans les eaux de surface a été maximale en amont (2250 ng/L), ce qui est nettement supérieur à la concentration des autres HAP. Ce composant a été mesuré plusieurs fois à des concentrations supérieures à 100 ng/L entre 2012 et 2014. Il s'agissait également de l'HAP dont la concentration était la plus élevée dans les postes adjacent (273 ng/L) et situé en aval (316 ng/L). Dans les sédiments, le chrysène était présent à la concentration maximale la plus élevée en amont (665  $\mu\text{g/kg}$ ), alors que le dibenz[a,h]anthracène constituait l'HAP ayant la concentration maximale la plus élevée au poste adjacent (92  $\mu\text{g/kg}$ ) et en aval (36  $\mu\text{g/kg}$ ).

En ce qui concerne les métaux, les concentrations maximales de nickel total et de vanadium mesurées dans les eaux de surface étaient les plus faibles aux postes de surveillance les plus proches des piles de stockage de coke de pétrole. Les concentrations mesurées en aval étaient comparables, voire inférieures, à celles mesurées en amont. Les concentrations minimales de nickel et de vanadium dans les sédiments étaient inférieures aux concentrations mesurées en amont, tandis que les concentrations maximales ont été relevées en aval.

### **7.3 Caractérisation des risques pour l'environnement**

L'approche suivie dans la présente évaluation environnementale préalable était d'examiner les données disponibles et de proposer des conclusions en suivant la méthode du poids de la preuve et le principe de prudence. Nous avons réuni des données probantes pour déterminer le potentiel des substances du groupe des cokes de pétrole de causer des effets nocifs pour l'environnement canadien. Les données probantes examinées étaient celles évaluées dans la présente évaluation qui étaient la caractérisation des risques pour l'environnement canadien. Les données probantes

secondaires ou indirectes, notamment les décisions réglementaires qui sont prises et la classification du danger, ou les caractéristiques du devenir qui sont déterminées par d'autres organismes de réglementation sont prises en compte.

Les substances du groupe des cokes de pétrole sont généralement considérées comme des solides non réactifs principalement composés de carbone élémentaire, avec une solubilité dans l'eau et une pression de vapeur négligeable. Par conséquent, les particules, ainsi que les HAP et les composants métalliques de la matrice de carbone, devraient être faiblement biodisponibles pour les organismes si elles sont rejetées dans l'environnement. D'après les études de laboratoire sur la fraction adaptée à l'eau (FAE), certains HAP dans le coke de pétrole ne se lessivent pas dans l'eau ou le sol à des concentrations nocives, car aucune toxicité n'a été observée dans les essais aquatiques et terrestres, en général. Ils n'ont pas non plus été détectés dans la FAE des composants du coke (pétrole) dans les essais de toxicité aquatique ou dans les échantillons de sol prélevés pour les essais terrestres (API 2008; McKee et coll. 2014). Les essais de toxicité terrestre sur le coke (pétrole) chez le lombric et des espèces végétales ont tous été sans effet à 1000 mg/kg (**Error! Reference source not found.**). Dans l'ensemble, des données de laboratoire probantes indiquent que le coke de pétrole a un potentiel faible de causer des effets nocifs chez les organismes aquatiques et terrestres dans des conditions de laboratoire.

Cependant, des études menées sur le terrain avec du coke de pétrole ont obtenu des données probantes sur la présence de HAP et de composants métalliques, ainsi que sur de possibles effets toxiques de ces substances dans des zones proches d'une production de coke de pétrole et de coke de pétrole entreposé. Il a été déterminé que la poussière en suspension dans l'air provenant de piles de stockage de coke de pétrole était la principale source de dépôt atmosphérique des HAP (Zhang et coll. 2016a). De plus, les HAP dans l'eau de fonte de la neige prélevée sur le terrain se sont révélés causer des effets toxiques chez les poissons dans des essais en laboratoire (Parrot et coll. 2018). Le vanadium et le nickel sont parmi les métaux les plus abondants dans les cokes de pétrole et ils sont la cause probable des effets nocifs du coke de pétrole chez les organismes aquatiques (Puttaswamy et coll. 2010; 2011) dans des études sur le terrain. Les concentrations mesurées de métaux dans les lixiviats dans des études au lysimètre dans les piles de stockage à l'extérieur étaient suffisamment élevées pour entraîner des effets nocifs chez les invertébrés aquatiques (*Ceriodaphnia dubia*). Les essais toxicologiques étaient réalisés sur des échantillons prélevés de lysimètres tous les 3 à 6 mois. Le vanadium dans le coke de pétrole est des plus mobiles et des plus susceptibles de se lessiver lorsqu'il est exposé à l'oxygène et à des eaux météoriques, conditions qui se produisent lors de la mise en piles de stockage et de l'entreposage (Nesbitt et Lindsay, 2017). Dans un rapport d'évaluation préalable sur le vanadium (pentoxyde de vanadium, oxyde de vanadium), on a conclu que cette substance ne présentait pas de risque pour l'environnement, mais qu'elle était préoccupante pour la santé humaine (Environnement Canada, Santé Canada 2010, ECCC 2016b, Santé Canada 2016b). Dans une évaluation différente, il a été conclu que le nickel et ses composés sont préoccupants pour la santé humaine et l'environnement (Environnement

Canada, Santé Canada 1994). Il convient de noter qu'aucun risque inacceptable pour l'environnement associé à ces métaux, comme composants du coke de pétrole, n'a été trouvé dans les évaluations préalables du nickel et du vanadium.

Pour évaluer le risque possible pour l'environnement associé aux HAP et aux composants métalliques qui pourraient être libérés des cokes de pétrole, on s'est servi de recommandations et de documents scientifiques pour déterminer les concentrations estimées sans effet (CESE) (Tableau 7-1 et Tableau 7-2).

**Tableau 7-1. CESE de métaux chez des organismes vivant dans l'eau, dans les sédiments et le sol**

Métal	Eau de surface (µg/L)	Sol (mg/kg p.s.)	Sédiments (mg/kg p.s.)
Nickel	25 <sup>a</sup>	45 <sup>c</sup>	16 <sup>d</sup>
Vanadium	120 <sup>b</sup>	130 <sup>c</sup>	90 <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Valeur recommandée pour le nickel dans l'eau dont la dureté est entre 0 et 60 mg/L (CCME, 1999)

<sup>b</sup> Recommandations fédérales pour la qualité de l'environnement pour le vanadium dans l'eau douce (Environnement Canada, 2016)

<sup>c</sup> Valeur prudente (scénario agricole et résidentiel) recommandée pour le nickel dans le sol (CCME, 1999)

<sup>d</sup> Valeur recommandée par le ministère de l'Environnement de l'Ontario pour le nickel dans les sédiments (Ontario, 2011)

**Tableau 7-2. CESE des HAP chez des organismes vivant dans l'eau, les sédiments et le sol**

HAP	Eau de surface (µg/L) <sup>c</sup>	Sédiments (µg/kg p.s.) <sup>a</sup>	Sol (mg/kg p.s.) <sup>a,b</sup>
Acénaphthène	59	6,71	0,28 <sup>c</sup>
Acénaphthylène	n.d.	5,87	320 <sup>c</sup>
Anthracène	0,06	46,9	2,5
Benz(a)anthracène	0,09	31,7	0,1
Benzo[a]pyrène	0,07	31,9	0,7
Benzo[b]fluoranthène	n.d.	n.d.	0,1
Benzo[k]fluoranthène	n.d.	n.d.	0,1
Chrysène	n.d.	57,1	6,2
Dibenz[a,h]anthracène	n.d.	6,22	0,1
Fluoranthène	0,20	111	50
Fluorène	125	21,2	0,25 <sup>c</sup>
Indéno[1,2,3-cd]pyrène	n.d.	n.d.	0,1
Naphthalène	2,2	34,6	0,013 <sup>c</sup>
Phénanthrène	0,80	41,9	0,046 <sup>c</sup>
Pyrène	0,40	53,0	0,1

n.d., aucune valeur recommandée

<sup>a</sup> Valeurs des Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement pour la protection de l'environnement et de la santé humaine (CCME 2010).

<sup>b</sup> Valeurs des Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement pour la protection du sol. La valeur recommandée la plus prudente a été retenue parmi celles recommandées pour les différents types d'utilisation des terres (CCME 2010).

<sup>c</sup> Valeur recommandée pour la protection de la vie en eau douce (CCME 1999)

On a effectué des analyses du quotient de risque (QR) en comparant les concentrations de suivi des HAP, du nickel et du vanadium (**Error! Reference source not found.** et **Error! Reference source not found.**) aux recommandations correspondantes pour la qualité de l'environnement pour ces substances (**Error! Reference source not found.** et Tableau 7-2) pour les milieux environnementaux pertinents afin de déterminer si ces substances pourraient causer des effets nocifs au Canada. La CESE pour le nickel dans l'eau de surface a également été ajustée pour prendre en compte la dureté de l'eau, comme décrite dans CCME 1999.

La toxicité des HAP et d'autres substances narcotiques non polaires est cumulative (DiToro et coll. 2000; DiToro et McGrath 2000). Un mode d'action narcotique est associé à une perturbation non spécifique des membranes cellulaires et est habituellement appelé toxicité de base. Un mode d'action non narcotique est appelé toxicité excessive (réactif et à action spécifique) et est généralement associé à un potentiel de causer des effets à long terme à des concentrations tissulaires plus faibles.

Une méthode de calcul avec les unités toxiques, décrite à l'annexe 4 du document d'Environnement Canada en référence (2015), a été employée pour déterminer le risque associé aux HAP totaux pour les organismes aquatiques (eau de surface). On a déterminé la contribution en unités toxiques pour chaque HAP dans la substance en divisant sa concentration à un point d'échantillonnage à une date donnée par la CESE (dans ce cas-ci, les valeurs des recommandations pour la qualité de l'environnement). On a ensuite additionné ces QR de chaque HAP (ou unités toxiques pour chaque HAP) pour un lieu donné et à une date donnée afin d'obtenir les unités toxiques globales pour tous les HAP pris en compte dans le lieu et la date d'échantillonnage donnés. Dans les cas où la concentration mesurée dans l'environnement était inférieure aux limites de détection de l'analyse, on a appliqué un facteur de 0,5 à la limite de détection pour le calcul des QR et des unités toxiques.

À la différence des valeurs des recommandations du CCME sur les HAP pour la qualité de l'eau, lesquelles découlent d'une seule valeur de toxicité critique, les valeurs des recommandations du CCME sur les HAP pour les organismes vivant dans les sédiments sont fondées sur les échantillons prélevés sur le terrain et tiennent donc compte de la présence des autres HAP dans l'échantillon. Pour cette raison, la méthode de calcul des unités toxiques n'a pas été utilisée dans ces scénarios, car les recommandations représentent déjà les HAP présents dans un mélange. Les unités toxiques et les QR calculés à partir des données de surveillance de la rivière Athabasca sont présentés dans le Tableau 7-3 et le Tableau 7-4.

**Tableau 7-3. Résumé des unités toxiques (HAP) et des quotients de risque (métaux) pour l'eau de surface obtenus à partir des postes de surveillance situés**

**le long de la rivière Athabasca pour les composants des substances du groupe des cokes de pétrole**

Analyte	Lieu	UT/QR moyen (max)	% dépassement (QR > 1)
HAP <sup>a</sup>	En amont	0,2 (1,2)	4
HAP <sup>a</sup>	Adjacent	0,2 (0,6)	0
HAP <sup>a</sup>	En aval	0,1 (0,6)	0
Ni (total)	En amont	0,1 (0,8)	0
Ni (total)	Adjacent	0,1 (0,6)	0
Ni (total)	En aval	0,1 (0,7)	0
V (total)	En amont	< 0,1(0,2)	0
V (total)	Adjacent	< 0,1(0,2)	0
V (total)	En aval	< 0,1(0,2)	0

<sup>a</sup> Somme des unités toxiques (UT); méthode utilisée pour les HAP dans l'eau de surface.

**Tableau 7-4. Résumé des quotients de risques pour les sédiments obtenus des postes de surveillance situés le long de la rivière Athabasca pour les composants des substances du groupe des cokes de pétrole**

Analyte	Lieu	QR moyen (max)	% dépassement (QR > 1)
HAP <sup>a</sup>	En amont	4,3 (11,7)	18
HAP <sup>a</sup>	Adjacent	0,8 (2,6)	6
HAP <sup>a</sup>	En aval	0,3 (0,7)	0
Ni (total)	En amont	1,3 (1,7)	73
Ni (total)	Adjacent	1,2 (1,7)	67
Ni (total)	En aval	1,3 (2,0)	87
V (total)	En amont	0,2 (0,3)	0
V (total)	Adjacent	0,3 (0,5)	0
V (total)	En aval	0,2 (0,5)	0

<sup>a</sup> Quotient de risque déclaré pour les HAP à la concentration la plus élevée mesurée lors de la surveillance. Les dépassements calculés concernent tous les HAP présentés dans le Tableau 7-2.

Les dépassements des HAP dans l'eau de surface ont été rapportés dans 4 % des mesures en amont. D'après l'analyse des données de surveillance, il n'y a eu aucun dépassement dans les postes adjacents ou en aval. Une petite tendance à la baisse a été observée dans les QR moyens, les QR du poste situé en amont (0,2) diminuant à 0,1 au poste situé en aval (Tableau 7-3). L'analyse des données de surveillance des HAP dans les sédiments a montré une tendance à la baisse des dépassements des valeurs des recommandations pour la qualité de l'environnement passant depuis le poste en amont jusqu'au poste en aval des piles de stockage de coke de pétrole (tableau 7-8). Au poste de surveillance en amont, les dépassements ont représenté 18 % de toutes les mesures d'HAP. Le chrysène a obtenu le QR calculé le plus élevé

en amont (moyenne = 4,3, maximum = 11,7). Au poste adjacent à la pile de stockage, 6 % des valeurs de surveillance ont dépassé les valeurs recommandées pour les HAP, le dibenz[a,h]anthracène ayant le QR le plus élevé (moyenne = 0,8, maximum = 2,6). Aucun dépassement n'a été observé en aval, ce qui semble indiquer que des facteurs additionnels (p. ex., d'autres sources naturelles ou anthropiques) pourraient influer sur les concentrations d'HAP en amont de la pile de stockage, ainsi que sur les concentrations qui sont diluées par le courant de la rivière Athabasca. Comme avec le poste de surveillance adjacent, le dibenz[a,h]anthracène a eu le QR le plus élevé en aval (QR moyen = 0,3, QR max = 0,7). Étant donné la tendance à la baisse du QR moyen et des dépassements des valeurs recommandées, il est peu probable que la pile de stockage contribue de façon importante aux concentrations d'HAP dans la rivière Athabasca.

Selon l'analyse des données sur le nickel et le vanadium totaux, il n'y a eu aucun dépassement des valeurs des recommandations pour la qualité de l'environnement ( $QR \geq 1$ ) dans l'eau de surface de la rivière Athabasca (tableau 7-7). Les QR du vanadium sont de loin restés en deçà de 1 à tous les postes de surveillance, sans tendance apparente selon le lieu de l'échantillonnage et le temps de l'année. Les QR maximaux pour le nickel se sont approchés de 1, sans toutefois dépasser 1, et ont été les plus faibles au poste de surveillance adjacent. Une analyse approfondie de toutes les données de surveillance de la rivière Athabasca a également montré qu'aucun QR n'était égal ou supérieur à 1 (données non présentées).

Les QR faibles dans les sédiments ont été calculés pour le vanadium (Tableau 7-4). Les QR moyens étaient similaires d'en amont à en aval de la pile de stockage. Cependant, le vanadium a montré des augmentations dans les concentrations moyennes et maximales au poste de surveillance adjacent à la pile de stockage et en aval. L'ampleur des augmentations était faible et n'a pas dépassé la valeur des recommandations pour la qualité de l'environnement dans les sédiments. Des dépassements de la valeur des recommandations ont été constatés pour le nickel dans les sédiments à tous les postes de surveillance. Les dépassements moyens ont varié de 1,2 (poste adjacent) à 1,3 en amont et en aval, le dépassement maximal ayant été le plus élevé en aval (2,0). La fréquence des dépassements était la plus élevée en aval de la pile de stockage (87 % des mesures) et la plus faible au poste adjacent à la pile de stockage (67 % des mesures). Dans une analyse de toutes les données de surveillance dans les sédiments, le taux de dépassement de l'ensemble de données du JOSM était de 100 %, tandis que celui du RAMP était de 32 % (données non présentées), ce qui semble indiquer que les concentrations élevées sont dues en partie aux concentrations de fond (naturelles) ou aux contributions anthropiques de longue date et non seulement aux rejets des piles de stockage de coke de pétrole. Cela est interprété comme une indication que la pile de stockage ne contribue pas de façon importante aux concentrations de nickel dans les sédiments de la rivière Athabasca.

Compte tenu de toutes les données probantes utilisées dans la présente ébauche d'évaluation préalable, il est peu probable que le coke (pétrole) et le coke calciné (pétrole) causent des effets nocifs pour l'environnement au Canada.

### **7.3.1 Sensibilité de la conclusion compte tenu des principales incertitudes**

Les données de toxicité obtenues en laboratoire pour le coke (pétrole) utilisées dans la présente évaluation sont fondées sur les fractions adaptées à l'eau (essais aquatiques) ou l'incorporation du coke dans le sol (essais terrestres). L'analyse chimique des fractions adaptées à l'eau utilisées pour les essais n'a pas permis de mesurer les HAP ou les métaux dans la fraction hydrosoluble et les essais n'ont pas révélé de toxicité importante. Par contre, des expériences sur le lessivage des cokes de pétrole ou l'utilisation d'échantillons prélevés sur le terrain ont indiqué que dans certaines circonstances, les composants métalliques et HAP pourraient causer des réactions de toxicité chez les organismes soumis à l'essai. Nesbitt et Lindsay (2017) ont étudié les effets de la météorisation des cokes de pétrole et le rejet du vanadium. Cependant, le potentiel élevé de diffusion locale des cokes de pétrole par des poussières libres transportées par le vent et les variations dans la biodisponibilité produites par les processus de météorisation peuvent entraîner une augmentation des valeurs estimées de la présence, dans l'environnement, des métaux et des HAP provenant des cokes de pétrole. Le potentiel pour les poussières libres et les impuretés issues du lessivage des cokes de pétrole n'est pas connu. Les effets locaux sur les écosystèmes sensibles environnants, tels que les milieux humides, ne sont pas bien étudiés, comme on le constate dans les publications scientifiques.

Étant donné la grande taille des piles de stockage de coke de pétrole sur Tar Island et leur proximité immédiate de la rivière Athabasca, les QR calculés à l'aide des données de surveillance de la rivière Athabasca ont été utilisés dans un scénario de la pire éventualité pour évaluer les tendances des dépassements des valeurs recommandées des composants des cokes de pétrole (HAP, Ni et V) dans l'environnement. Il existe cependant des limites à cette méthode. Certains postes de surveillance sont plutôt loin des piles de stockage, comme le poste M9 (annexe A), ce qui rend l'attribution de la source plus difficile. Le nombre limité des données de surveillance ont créé des lacunes dans l'analyse, plus particulièrement en ce qui concerne les HAP. Bon nombre des lieux d'échantillonnage n'ont pas fait de mesures à toutes les dates d'échantillonnage et les HAP n'ont pas tous été mesurés dans tous les échantillons, ce qui pourrait entraîner une sous-estimation des unités toxiques totales dans certains cas. Les mesures dans les sédiments ont été limitées dans la plupart des cas à seulement 2 à 5 mesures au fil du temps par HAP et matrice à chaque endroit. Aucune donnée de surveillance sur les composants des cokes de pétrole n'a été obtenue pour l'eau souterraine, le sol ou l'air. Cependant, il est davantage question des particules dans l'atmosphère à la section 8.3 du présent document. Le manque de données de surveillance sur les HAP et les métaux ont limité l'évaluation des risques pour l'eau de surface et les sédiments uniquement, et aucune donnée de surveillance dans les zones entourant les piles de

stockage de coke de pétrole à l'extérieur de la région des sables bitumineux de l'Athabasca n'a été trouvée.

Il n'existe aucune recommandation canadienne pour le nickel dans les sédiments. On a examiné les recommandations d'autres administrations pour choisir une valeur appropriée à utiliser dans la présente évaluation préalable. Les recommandations ontariennes pour la qualité des sédiments (Ontario 2011) ont été retenues puisqu'elles proviennent d'une province canadienne et leur valeur, 16 mg/kg, était parmi les plus faibles. Par conséquent, cette valeur est l'une des plus prudentes pour l'estimation des risques.

On ne peut supposer que la pile de stockage de coke de pétrole a contribué aux concentrations de tous les composants de coke de pétrole mesurées dans l'eau de surface et les sédiments. La pile de stockage est située parmi d'autres installations de valorisation de l'extraction de pétrole, qui peuvent également contribuer à la présence des métaux et des HAP dans l'eau et les sédiments.

Certains auteurs ont proposé d'utiliser des cokes de pétrole pour recouvrir les bassins de résidus (Suncor 2018), par exemple, ou comme amendement des sédiments de surface dans les milieux humides artificiels considérés comme des zones pouvant poser des risques pour l'environnement, selon la documentation scientifique (Puttaswamy et coll. 2011; Baker et coll. 2012). Ces utilisations pourraient créer des conditions propices au lessivage des métaux (Puttaswamy et coll. 2011), mais elles n'ont pas été davantage étudiées dans le cadre de la présente évaluation.

## **8. Potentiel de causer des effets nocifs pour la santé humaine**

### **8.1 Évaluation de l'exposition**

Les cokes de pétrole ne sont pas présents dans les médicaments d'ordonnance, les médicaments en vente libre, les produits de santé naturels, les cosmétiques, les produits disponibles aux consommateurs, les additifs alimentaires et les emballages pour aliments au Canada. Par conséquent, l'exposition de la population générale canadienne associée aux produits disponibles aux consommateurs devrait être nulle.

Le coke (pétrole) est produit en grandes quantités dans les exploitations de sables bitumineux de la région des sables bitumineux de l'Athabasca, en Alberta, et en faibles quantités dans les raffineries dans d'autres régions au Canada. Le coke calciné (de pétrole) est produit dans les fours à coke d'usines de grillage, lesquelles utilisent du coke (pétrole) d'une source externe comme matière première et sont souvent associées à des alumineries. Le coke calciné (pétrole) est importé au Canada par quelques installations (Canada 2017b). La population générale pourrait être exposée à ces sources par les milieux.

Les cokes de pétrole ne se vaporiseront pas dans l'atmosphère ni ne réagiront pas en présence d'eau ou de lumière. Étant donné la taille des particules, les cokes de pétrole rejetés dans l'environnement pourraient être incorporés dans les sols et les sédiments, ou être transportés par le vent ou l'eau de surface (CRS 2013).

## **8.1.1 Milieux**

La population générale pourrait être exposée aux cokes de pétrole par les milieux, comme l'air, le sol et l'eau provenant des activités industrielles liées à la production, à l'entreposage et au transport. Chacune de ces sources d'exposition est traitée séparément ci-dessous.

L'inhalation de poussière de coke de pétrole pendant la production, le stockage ou le transport de ce produit provenant de différentes sources est une voie d'exposition possible pour l'humain. En ce qui concerne cette voie d'exposition, les particules issues de cokes de pétrole constituent une préoccupation majeure. L'exposition fortuite par ingestion ou par la peau à la poussière diffuse dans le sol et l'eau produite par la transformation de cokes de pétrole est également possible (Caruso 2015).

### **8.1.1.1 Air**

Le rejet de poussière ou de particules fines (particules d'un diamètre de 10 µm ou moins) provenant des piles de stockage de cokes de pétrole varie selon la qualité du coke produit qui est présent dans la pile de stockage (taille physique des particules), la quantité de coke de pétrole qui est manipulée, et l'emploi ou non de technologies de réduction de la poussière pendant la production et le transport de coke. La pulvérisation de cokes de pétrole pour l'industrie peut également produire de la poussière qui est rejetée dans l'atmosphère. Cependant, la plupart des piles de stockage de coke de pétrole sont formées de granules dont le diamètre est plus grand de plusieurs ordres de grandeur que cette fourchette de diamètres (CRS 2013, Caruso et coll. 2015, Bari et coll. 2016, Landis et coll. 2017, Xu 2018). Au Canada, des cokes de pétrole peuvent être libérés dans l'atmosphère par de grandes installations pétrolières qui produisent et stockent des cokes de pétrole dans la région des sables bitumineux de l'Athabasca, des raffineries situées à l'extérieur de la région des sables bitumineux de l'Athabasca qui peuvent traiter le pétrole brut lourd, les installations de transport et de stockage de cokes de pétrole, et les usines de grillage du coke. La production, le stockage temporaire et le transport de cokes de pétrole peuvent créer des particules fines qui peuvent être dispersées dans l'atmosphère.

D'autres activités au voisinage d'installations de transformation de coke de pétrole peuvent mener au rejet de particules fines. Les profils chimiques des particules, plus particulièrement celui des mélanges d'HAP intégrés, et le rapport des concentrations du vanadium (V) sur celles du nickel (Ni), intégrés dans les particules de poussière, diffèrent selon la source de la poussière. On peut, à l'aide de ces profils chimiques,

déterminer la proportion de poussière provenant de cokes de pétrole (Xu 2018; Gopalapillai et coll. 2019; Dourson 2016).

#### Rejet dans l'atmosphère par les installations de production et de stockage de coke (pétrole)

##### *Rejets de coke (pétrole) à proximité de lieux de production et de stockage de coke de pétrole à des raffineries de sables bitumineux et de pétrole brut lourd*

La surveillance, dans l'atmosphère, de particules de diamètre égal ou inférieur à 2,5 µm à Fort McKay, à Patricia McInnes, dans la vallée de l'Athabasca (région de Fort McMurray) et à Fort Chipewyan, à l'intérieur ou à proximité de la région des sables bitumineux de l'Athabasca, a permis de mesurer des concentrations moyennes annuelles (moyennes sur trois ans entre 1998 et 2012) variant de 2,4 à 7,7 µg/m<sup>3</sup>. Aucune tendance à la baisse ou à la hausse importante n'a été observée pour les particules de diamètre égal ou inférieur à 2,5 µm à Fort McKay et à Fort McMurray pendant 15 ans de surveillance atmosphérique (entre 1998 et 2012) si l'on exclut les effets des feux de forêt régionaux (Bari 2015). Si l'on ne tient pas compte des concentrations les jours où les feux de forêt ont fait varier la concentration des particules, la concentration maximale quotidienne des particules de diamètre égal ou inférieur à 2,5 µm est de 10 µg/m<sup>3</sup>.

Les grandes piles de stockage de coke de pétrole sont l'une des sources d'émission de particules de poussière de la région des sables bitumineux de l'Athabasca (Xing 2017; Zhang et coll. 2016a; Manzano 2017). Les mesures de la taille des particules emportées par le vent des piles de stockage de coke (pétrole) dans la région des sables bitumineux de l'Athabasca et retombées sur des dépôts de neige adjacents ont révélé que le diamètre effectif des particules était supérieur à 10 µm et que, par conséquent, les particules ne sont probablement pas inhalables et leur taille est supérieure à celle utilisée pour la surveillance par la plupart des organismes de réglementation (Zhang et coll. 2016a).

La surveillance de la poussière et des aérosols dans l'atmosphère qui peuvent être attribués aux émissions de la production de coke de pétrole a été effectuée à trois endroits de la région des sables bitumineux de l'Athabasca. Selon les profils chimiques, on ne peut plus attribuer les particules de poussière aux piles de stockage de coke de pétrole à mesure qu'on s'éloigne de ces piles (Xu 2018; Gopalapillai et coll. 2019).

##### *Rejets de coke (pétrole) près de raffineries urbaines et des lieux de stockage de raffineries urbaines*

À l'extérieur de la région des sables bitumineux de l'Athabasca, les raffineries capables de transformer le pétrole brut lourd, les usines de grillage du coke en Alberta, en Colombie-Britannique et en Ontario, ainsi que les installations d'importation de coke au Québec et en Nouvelle-Écosse demandent toutes la transformation, le stockage temporaire et le transport des cokes de pétrole qui pourraient contribuer aux rejets liés aux conditions météorologiques ou aux activités de poussière diffuse et de particules

fines de coke de pétrole dans l'atmosphère. On connaît les quantités de coke (pétrole) et de coke calciné (pétrole) qui est stocké et transporté dans certaines de ces installations, mais on a trouvé des données de surveillance propres au Canada pour déterminer l'effet du transport et du stockage de coke de pétrole sur la concentration de particules dans les régions situées à proximité. Le Programme du Réseau national de surveillance de la pollution atmosphérique (RNSPA) (Canada 2013) comprend des données sur les particules de diamètre égal ou inférieur à 10 µm pour des villes ontariennes où sont installées des raffineries de pétrole brut lourd et des installations de stockage de coke (pétrole) et pour des villes canadiennes comptant des usines de grillage du coke. Cependant, comme les lieux de surveillance du Programme du RNSPA sont généralement situés à une distance minimale de 5 km des installations de stockage de coke, il n'est pas possible d'attribuer à une installation de stockage de coke les mesures de la qualité de l'air de ces lieux de surveillance.

Une étude approfondie des particules fines de diamètre égal ou inférieur à 10 µm rejetées à des installations urbaines de transport de coke (pétrole) et de charbon à Chicago a été réalisée en 2016 et l'effet du coke de pétrole sur la qualité de l'air dans les zones résidentielles environnantes a été examiné (ATSDR 2016). Les installations de stockage du coke (pétrole) à Chicago étaient significativement plus grandes que les installations similaires au Canada et étaient situées près des zones densément peuplées de la ville. Faute de données propres au Canada, les résultats de ces études ont été considérés comme la limite supérieure pour les installations similaires dans les milieux urbains ou suburbains canadiens. À l'extérieur de la région des sables bitumineux de l'Athabasca, aucune installation de stockage de coke similaire à celles de Chicago en matière de volume de coke (pétrole) traité n'a été trouvée au Canada.

Dans l'étude, la surveillance des particules de diamètre égal ou inférieur à 10 µm dans l'air a été effectuée à des postes d'observation météorologique sur les limites de terrain des deux installations à Chicago. À chaque poste, des échantillons ont été prélevés toutes les heures et des moyennes sur 24 heures ont été calculées à partir des données recueillies pendant des intervalles de trois jours. Dans cette étude, en tout 3313 mesures validées de particules de diamètre égal ou inférieur à 10 µm ont été prises et moyennées sur 24 heures et ont constitué le fondement de l'analyse (ATSDR 2016). Environ 365 de ces mesures ont été prises à un endroit situé à 0,65 mille (1,0 km) de l'une des installations ayant des piles de stockage afin d'obtenir les concentrations types de référence de ces particules dans l'atmosphère de la région.

La concentration moyenne annuelle des particules de diamètre égal ou inférieur à 10 µm des postes de surveillance variait de 25 à 36 µg/m<sup>3</sup> (ATSDR 2016).

#### Rejets dans l'atmosphère de coke calciné provenant d'installations situées près de régions urbaines

##### *Rejets des installations de grillage de coke*

Il existe plusieurs installations de grillage de coke au Canada, en l'occurrence à Strathcona en Alberta, à Arvida au Québec et à Kitimat en Colombie-Britannique (Rain

Carbon 2016; Jacobs Consultancy 2019), qui transforment le coke (pétrole) en coke calciné pour la fabrication de l'aluminium. Il pourrait y avoir exposition aux particules fines et aux gaz produits par le processus de grillage. Singh et coll. (Singh 2015) ont réalisé une étude faisant appel à la surveillance de la qualité de l'air ambiant à la limite de terrain d'une installation et à la modélisation AERMOD de la dispersion dans l'air pour des endroits situés à proximité de l'installation afin de déterminer les effets d'une installation de grillage dans un port de l'est de l'Argentine sur la qualité de l'air de la ville adjacente. Le volume de production de coke calciné dans cette installation est plus grand que celui des installations de grillage de coke au Canada, mais faute de données sur les émissions d'installations de grillage de coke similaires au Canada, nous avons utilisé cette étude pour établir approximativement les limites supérieures d'exposition dans le contexte canadien.

Les concentrations des échantillons de particules de diamètre égal ou inférieur à 10 µm prélevés près de l'installation de grillage pendant une période de cinq ans s'échelonnant de 2009 à 2014 étaient en moyenne inférieures à 50 µg/m<sup>3</sup>.

Dans les installations de grillage, le coke (pétrole) est chauffé à des températures aussi élevées que 1000 °C et les composés organiques volatils, qui constituent au plus 21 % de la masse du coke (pétrole), sont efficacement brûlés dans le processus de grillage. On peut donc s'attendre à ce que les composés organiques volatils ne soient pas rejetés en quantités importantes dans l'atmosphère pendant le grillage [CONCAWE 1993; Edwards 2015].

#### *Rejets d'usines sidérurgiques et d'alumineries*

L'usine sidérurgique et les alumineries, surtout dans la région de Hamilton, en Ontario, utilisent le coke calciné comme source de carbone dans leurs activités. Le stockage et la transformation du coke calciné peuvent mener au rejet de particules fines de coke de pétrole dans l'air ambiant. La surveillance de la qualité de l'air concernant la fraction des particules de diamètre égal ou inférieur à 10 µm est réalisée par un réseau de postes de surveillance de la région du grand Hamilton, dont l'une des contributions pourrait être les particules fines provenant des piles de stockage de coke calciné utilisées dans ces installations. Pendant la période s'échelonnant de 2011 à 2017, la concentration moyenne des particules de diamètre égal ou inférieur à 10 µm sur 24 heures à tous les postes du réseau de surveillance de la qualité de l'air de Hamilton variait de 20 à 30 µg/m<sup>3</sup>. Pour l'année 2017, un seul des sept postes déclarant des concentrations de particules fines de diamètre égal ou inférieur à 10 µm a obtenu une moyenne annuelle supérieure à 30 µg/m<sup>3</sup> (HAMN 2017). Il n'y a pas de corrélation apparente entre la mesure de concentration de particules de diamètre égal ou inférieur à 10 µm des différents postes de surveillance et leur distance par rapport aux aciéries.

#### **8.1.1.2 Sol**

##### Rejets dans le sol provenant des installations de production et de stockage du coke (pétrole)

***Rejets du coke (pétrole) dans le sol près de lieux de production et de stockage de coke de pétrole à des installations d'exploitation des sables bitumineux et à des raffineries***

On a réalisé des études pour déterminer la présence de particules de coke de pétrole dans des échantillons de neige, de carottes de tourbe, de sphaigne et de lichen prélevés en champ proche et en champ lointain des piles de stockage de coke (pétrole) de la région des sables bitumineux de l'Athabasca (Zhang et coll. 2016a, Landis 2019, Gopalapillai, et coll. 2019). Pour les analyses, les échantillons de neige et de poussière ont été laissés à fondre, puis lyophilisés, broyés et ultérieurement traités par une extraction au solvant (mélange d'hexane et de dichlorométhane) ou une digestion (mélange H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-HF-HNO<sub>3</sub>, acide nitrochlorhydrique ou 1 M de HCl suivie de 1 M NaOH à 70 °C) et les empreintes chimiques des particules de coke (pétrole) ont été extraites des solutions résultantes à l'aide de solvants.

Aux lieux en champ proche (à une distance d'au plus 20 km d'installations de stockage de coke [pétrole]), les particules de poussière de coke de pétrole emportées par le vent représentent jusqu'à 75 % des composés de la signature chimique intégrés dans les échantillons de mousses et de lichen (Zhang et coll. 2016a; Landis et coll. 2019; Gopalapillai et coll. 2019), tandis qu'aux lieux situés à plus de 20 km (jusqu'à 50 km de l'installation de stockage de coke), au plus 25 % de la substance des signatures chimiques dans les échantillons de mousse pouvaient être attribués aux cokes de pétrole produits par le traitement retardé des cokes de pétrole des installations de cokéfaction de la région des sables bitumineux de l'Athabasca (Zhang et coll. 2016a).

D'autres études confirment que les composants de signatures chimiques intégrés dans le coke (pétrole) sont présents dans la neige, les sédiments de lac et l'atmosphère à proximité de la région des sables bitumineux de l'Athabasca (Manzano et coll. 2017, Landis et coll. 2019, Chibwe et coll. 2019).

***Rejets de coke (pétrole) près des raffineries urbaines et des lieux de stockage de raffineries urbaines***

À des installations urbaines et suburbaines de transport et de stockage de coke ou de raffineries productrices de coke, le lessivage par l'eau de pluie pourrait contribuer à l'intégration des cokes de pétrole dans les sols ou la poussière de surface des régions adjacentes. Nous n'avons trouvé aucune étude sur l'ampleur du lessivage superficiel des cokes de pétrole provenant d'installations de stockage vers les sols et la poussière de surface de lieux adjacents au Canada. Dans une autre étude, on a cherché la présence possible de coke (pétrole) dans le sol de régions contiguës à des installations urbaines de transport de cokes de pétrole à Chicago (Dourson 2016). Les résultats de cette étude sont considérés comme un scénario possible permettant de déterminer la limite supérieure pour ce qui est de la contamination, par le coke de pétrole, du sol à proximité des installations au Canada.

Dans l'étude de Chicago, la dispersion possible de coke de pétrole par lessivage à l'eau de pluie ou la dispersion possible de particules de coke par des vents forts et leur dépôt sur le sol et la poussière de surface sont préoccupantes. La composition du sol et de la

poussière de surface dans 43 échantillons prélevés dans des lieux adjacents à des installations de stockage de coke de pétrole (à proximité de banlieues situées à moins de 2 milles environ ou 3,2 km des installations) et dans des lieux plus lointains (à plus de 2 milles ou 3,2 km) a été déterminée à l'aide de marqueurs chimiques des cokes de pétrole (Dourson 2016). Des échantillons de sol et de poussière de surface ont été prélevés après quelques jours de temps sec suivant une journée de pluie et après des périodes de vents forts soufflant en rafales (à plus de 60 km/h), conditions qui devraient favoriser la dispersion des particules de coke de pétrole dans les zones adjacentes.

Les analyses chimiques des échantillons de sol des lieux situés près des installations de stockage (à proximité de banlieues situées à moins de 2 milles environ ou 3,2 km des installations) et des échantillons de sol prélevés dans des lieux plus éloignés ont permis de déterminer que les marqueurs chimiques des deux ensembles d'échantillons étaient similaires. Par conséquent, les auteurs de l'étude ont établi que la composition du sol n'était pas modifiée par la présence d'une installation urbaine de stockage et de transport de cokes de pétrole. La plupart des cokes de pétrole restaient dans l'installation et n'étaient pas dispersés dans les régions adjacentes par infiltration après lessivage par l'eau de pluie ou rafales (Dourson 2016).

#### **8.1.1.3 Eau**

Il existe des données probantes que les impuretés dans les cokes de pétrole (en particulier les HAP, le V et le Ni) peuvent se lessiver dans l'eau dans certaines conditions environnementales, décrites à la section 7.2.1, surtout lorsque du coke de pétrole est immergé dans l'eau. Les conditions dans lesquelles le lessivage a été observé comprennent l'immersion des échantillons de coke dans l'eau suivie d'un cycle de congélation et de décongélation, l'enfouissement d'échantillons de coke dans le sol et la simulation de bassins dont les sédiments contiennent du coke. Il existe de grandes piles de stockage de coke (pétrole) près des cours d'eau de la région des sables bitumineux de l'Athabasca et, par conséquent, des HAP, du vanadium et du nickel pourraient être présents dans l'eau en aval de la pile de stockage.

La production de cokes de pétrole et leur stockage en piles et dans des installations industrielles peuvent entraîner la formation de monticules de coke de pétrole exposés à l'eau de ruissellement de la pluie ou de la neige fondu. Le coke de pétrole peut donc être transporté dans les réseaux d'égouts pluviaux, les cours d'eau, les lacs et les eaux côtières (CRS 2013). On ne surveille pas les cokes de pétrole dans l'eau directement (communication personnelle, courriel du Bureau de la qualité de l'air et de l'eau, de Santé Canada, adressé au Bureau de la gestion du risque, de Santé Canada, du 20 décembre 2018, sans référence; communication personnelle, courriel du programme provincial sur l'eau potable et les eaux usées/eaux pluviales, du ministère de l'Environnement et des Parcs de l'Alberta, adressé au Bureau de la gestion du risque, de Santé Canada, du 20 décembre 2018, sans référence). Les concentrations de nickel, de vanadium et d'HAP à proximité d'installations de transformation du coke et de piles de stockage le long de la rivière Athabasca sont surveillées par le Regional

Aquatics Monitoring Program (RAMP) et les programmes du Plan de mise en œuvre conjoint Canada-Alberta pour la surveillance visant les sables bitumineux (JOSM) dans la région des sables bitumineux de l'Alberta et sont présentées à la section 7.2.1. Les concentrations dans les eaux de surface provenant de trois zones situées en amont ou en aval, ou adjacentes à des piles de stockage de coke (pétrole) ont été mesurées. Un résumé des valeurs mesurées est présenté au tableau 7-3. Les concentrations maximales de nickel et de vanadium déclarées aux postes de surveillance de la qualité de l'eau situés le plus près des piles de stockage de coke de pétrole ont été plus faibles que celles enregistrées en amont ou en aval des piles de stockage. Les concentrations mesurées en aval de la pile de stockage de coke de pétrole étaient semblables ou inférieures aux concentrations enregistrées en amont. Une tendance similaire a été observée pour les concentrations d'HAP dans la rivière, là où les lieux de surveillance en amont ont déclaré les concentrations les plus élevées par rapport aux endroits adjacents et en aval. S'il y avait d'importants rejets de ces substances présentes dans les piles de stockage de coke de pétrole, on s'attendrait à ce que les concentrations en aval des piles de stockage soient plus élevées que celles en amont.

Selon les observations, il n'y a pas d'augmentation des concentrations d'HAP, de nickel et de vanadium concentrations aux lieux adjacents et en aval de la rivière, près des piles de stockage de coke de pétrole dans la région des sables bitumineux de l'Athabasca par comparaison avec les concentrations aux lieux situés en amont des piles de stockage. Par conséquent, les concentrations de ces substances actuellement présentes dans l'eau de surface ne peuvent être associées à la présence des piles de stockage de coke de pétrole. Puisqu'aucune concentration d'HAP, de nickel et de vanadium n'a été observée dans l'eau près des très grandes piles de stockage de la région des sables bitumineux de l'Athabasca, il ne devrait y avoir aucune augmentation des concentrations de ces substances dans l'eau à proximité des petites piles de stockage de coke de pétrole situées près d'installations industrielles urbaines et suburbaines (ni immergées dans l'eau) dans d'autres parties du Canada.

## **8.2 Évaluation des effets sur la santé**

Les deux catégories de cokes de pétrole (coke [pétrole] et coke calciné) ont été évaluées à l'international en tant que groupe selon leur potentiel de danger, en raison de leurs propriétés physicochimiques similaires et des similitudes dans certains aspects de leurs procédés de fabrication (MDEQ 2014; USEPA 2011).

Dans la plupart des études mentionnées, des animaux de laboratoire ont été exposés à des particules de coke (pétrole) finement broyées de diamètre inférieur à 5 µm (USEPA 2011; API 2008). L'analyse chimique a révélé que ces échantillons de coke contenaient des quantités d'impuretés caractéristiques, dont des HAP, du vanadium et du nickel, comme présenté dans les tableaux 2-2 et 2-3.

Les résultats des études réalisées chez des animaux de laboratoire ont montré que l'exposition à doses répétées ou à long terme aux cokes de pétrole n'a pas causé de cancer ou de toxicité pour la reproduction ou le développement après une exposition par voie cutanée ou par inhalation. Le potentiel de génotoxicité des cokes de pétrole était également négatif dans les essais réguliers *in vivo* et *in vitro* (Caruso et Stemmer 2018; Caruso 2015; USEPA 2011; API 2008).

Notamment, la plupart des données disponibles sur les cokes de pétrole proviennent de l'évaluation du coke (pétrole) dont le potentiel de danger est plus élevé en raison du contenu plus élevé de matières volatiles ou d'hydrocarbures (2 % à 21 % en poids) et est considéré comme plus défavorable que celui du coke calciné. Le contenu du coke calciné en matières volatiles est plus faible (< 0,25 %) et devrait avoir un potentiel de toxicité plus faible (API 2000). Dans certaines études, l'American Petroleum Institute (API) a utilisé les résultats de l'analyse du coke (pétrole) et les a extrapolés ou a utilisé une approche d'extrapolation pour évaluer les effets du coke calciné sur la santé (API 2008).

Dans une étude d'exposition à doses répétées à court terme par inhalation (museau seulement), des rats F344 mâles ont été exposés à 58 mg/m<sup>3</sup> (0,058 mg/L) de particules fines d'un diamètre moyen de 2,7 µm de coke (pétrole) ou à 45 mg/m<sup>3</sup> (0,045 mg/L) de particules fines d'un diamètre moyen de 2,7 µm de coke calciné, pendant 6 h/jours pendant 5 jours. Les rats ont été examinés aux jours 7, 28 et 63 suivant l'exposition. L'examen histologique des tissus pulmonaires a été réalisé uniquement chez les animaux sacrifiés au jour 63 après exposition. Aucune mortalité n'a été signalée et aucun signe de toxicité n'a été observé chez les rats traités de cette étude. De même, il n'y a eu aucun signe de toxicité pulmonaire, car aucun changement macroscopique ou histologique n'a été observé dans les groupes de traitement 7 ou 28 jours après l'exposition. Des signes d'une légère inflammation des voies respiratoires (augmentation des neutrophiles, des lymphocytes, de la numération cellulaire) ont été observés dans le liquide bronchoalvéolaire seulement au jour 63 après l'exposition (à 58 mg/m<sup>3</sup> ou à 45 mg/m<sup>3</sup>). Cependant, aucune fibrose pulmonaire n'a été observée et le poids des poumons des rats exposé au coke était comparable à celui des rats du groupe témoin. Ces effets ont été déclarés être sans signification toxicologique par l'API (HLS 1999; mentionné dans API 2008; 2000). La dose à l'essai la plus élevée (> 50 mg/m<sup>3</sup>) a été établie comme la dose sans effet nocif observé (DSENO) (API 2000).

De même, l'exposition à long terme par inhalation à 0, 10 ou 30 mg/m<sup>3</sup> (USEPA 2011) de particules de poussière de coke (pétrole) finement broyées (environ 3 µm de diamètre) dans une chambre en verre pendant 6 h/jour, 5 jours/semaine pendant 2 ans n'a pas causé de signe lié au traitement en matière de toxicité, de mortalité ou de changements dans les paramètres biochimiques, hématologiques et histopathologiques chez les rats SD mâles et femelles (n = 150 de chaque sexe) ou les macaques de Buffon (n = 4 de chaque sexe) (Klonne et coll. 1987). Chez ces deux espèces animales, les effets liés au traitement ont été déclarés comme étant une augmentation

significative, liée à la dose, du poids absolu ou relatif (au poids corporel) des poumons et de la trachée des rats mâles et femelles et des macaques. Le poids absolu des poumons a augmenté de 11 % et de 44 % chez les rats mâles et de 13 % et de 69 % chez les rats femelles des groupes traités par 10 ou 30 mg/m<sup>3</sup>, respectivement. Chez les macaques, le poids absolu et le poids relatif des poumons avec la trachée ont augmenté dans les deux groupes (jusqu'à 77 % chez les mâles et à 42 % chez les femelles). Les variations de poids des poumons étaient accompagnées d'une pigmentation noire due à la phagocytose, par les macrophages, du produit administré. Chez les rats, l'examen histopathologique des poumons a révélé des changements inflammatoires, notamment une bronchiolisation, une sclérose, une métaplasie des cellules squameuses et la présence de kystes de kératine dans les alvéoles (Klonne et coll. 1987). Aucun changement de type inflammatoire n'a été observé chez les macaques ni signe de cancérogénicité constaté dans cette étude (Klonne et coll. 1987). Selon l'USEPA, une CMENO de 10 mg/m<sup>3</sup> a été établie d'après une inflammation des poumons et l'histopathologie chez les macaques, et aucune DSENO n'a été établie (USEPA 2011). L'API a établi une CMENO pulmonaire d'environ 10 mg/m<sup>3</sup> et une DSENO de plus de 30 mg/m<sup>3</sup>, par toxicité générale, chez les deux espèces animales (API 2008). Comme dans l'étude de Klonne et coll. (1987), les changements constatés dans les poumons ont été attribués à un excès de particules fines de coke dans les poumons, ce qui ne serait pas utile dans les situations typiques d'exposition humaine (Bevan et coll. 2018; API 2008; Mauderly et McCunney 1995). Cela est davantage appuyé à l'atelier de l'International Life Science Institute (ILSI; Olin 2000) où il a été déclaré ceci : « Puisque la réponse apparente à l'excès varie dans le modèle (le rat) varie selon qu'il y a inflammation chronique active et prolifération de cellules concomitantes, les poumons soumis à des doses plus faibles où il n'y a ni inflammation chronique active ni prolifération de cellules, il ne devrait pas y avoir de risque de développer un cancer du poumon ».

Aucun signe de cancérogénicité n'a été observé après l'application de doses répétées à long terme de 100 µL (250 mg/mL ou suspension de 25 % dans de l'huile minérale) de particules de coke (pétrole) d'un diamètre de 5 µm sur la peau du dos de souris C3H/HeJ à raison de 3 fois/semaine pendant 2 ans. Les examens histologiques ont été réalisés sur toutes les souris du groupe témoin et du groupe de traitement. Un certain épaissement de la peau a été observé au lieu d'application du coke (pétrole), mais aucun effet néoplasique lié au traitement n'a été noté. De plus, le coke (pétrole) n'a pas causé de néoplasmes dans les études de toxicité par exposition chronique par inhalation. Les souris du groupe témoin positif ont été exposées, par voie cutanée, au benzo[a]pyrène et ont développé des néoplasmes de cellules de l'épithélium squameux (Wingate et Hepler 1982; mentionné dans Caruso et coll. 2015; USEPA 2011; API 2008).

De plus, les épreuves de toxicité génétiques ont révélé que le coke (pétrole) n'était pas toxique ni mutagène dans les essais *in vitro* réguliers (test d'Ames, cellules de lymphome de souris) et l'essai *in vivo* d'aberration chromosomique sur la moelle osseuse (API 2000). Cependant, dans un essai de mutagénicité bactérienne *in vitro*,

élaboré pour optimiser certains composés non solubles dans l'eau, le coke (pétrole) a été déclaré positif (ASTM 2004a; Dalbev et coll. 1998; Caruso et coll. 2018).

Collectivement, il a été rapporté que les cokes de pétrole ne sont pas génotoxiques ni mutagènes dans les essais *in vitro* et *in vivo* réguliers (CRC 2013; USEPA 2011). (USEPA 2011; API 2008).

Dans une évaluation préalable combinée de toxicité sub-chronique et de toxicité pour la reproduction et le développement, des rats Sprague-Dawley mâles et femelles (12/sexe/groupe) ont été exposés (par inhalation, museau seulement) à des particules de poussière de coke (pétrole) de diamètre moyen de 2,3 µm à raison de 0, 30, 100 ou 300 mg/m<sup>3</sup>. Les rats mâles ont été exposés pendant 2 semaines avant la période d'accouplement, puis pendant 28 jours (6 h/jour) pendant et après la période d'accouplement. Les femelles ont été exposées pendant 14 jours consécutifs (6 h/jour) jusqu'à ce qu'elles deviennent gravides, puis de la gestation au jour postnatal 4 (USEPA 2011; HLS 2006, mentionné dans API 2008). On a examiné les indices sur la reproduction (indices d'accouplement, taux de gravidité, indices de fertilité des mâles, la durée de la gestation, le nombre de sites d'implantation et de corps jaunes, le nombre de pertes avant et après l'implantation, le nombre de petits par portée, le nombre de petits nés vivants ou mort-né et l'incidence de mères dont les petits n'étaient pas viables) et les indices sur le développement (viabilité des petits, leur poids, le sex-ratio et le taux de survie). Les seuls effets rapportés sont une augmentation importante, liée à la dose, du poids des poumons des rats mâles (37 %) et femelles (58 %) des groupes de traitement à 100 mg/m<sup>3</sup> et à 300 mg/m<sup>3</sup> et des signes tels qu'un dépôt de pigments, une altération de la couleur et de l'inflammation des poumons chez tous les animaux traités. Cependant, aucun effet sur la reproduction ou le développement n'a été observé dans cette étude (Caruso et coll. 2015; USEPA 2011). L'USEPA semble établir la dose à l'essai la plus élevée comme étant la DSENO de 300 mg/m<sup>3</sup> pour les effets sur la reproduction ou le développement, et la CMENO de 30 mg/m<sup>3</sup> pour les effets sur les poumons et l'histopathologie (toxicité maternelle) (USEPA 2011).

Par ailleurs, McKee et coll. (2014) ont suivi la même posologie pour reproduire les effets sur la reproduction et le développement de l'exposition par inhalation à 0, 30, 100 ou 300 mg/m<sup>3</sup> de coke (pétrole) indiquée dans HLS (2006), mentionné dans API (2008). McKee et coll. (2014) ont rapporté une augmentation du poids des poumons associée à une altération de la couleur ou une pigmentation noire des poumons et une hyperplasie ou hypertrophie de l'épithélium broncho-alvéolaire chez tous les rats exposés. Les auteurs de l'étude ont attribué ces effets à une concentration élevée de particules de coke non solubles dans les poumons (Caruso et coll. 2015; API 2008). Les effets des particules peu solubles (PPS), comme la poussière de cokes de pétrole, de diésel ou de schiste, sur les poumons varient entre les humains (et les primates non humains) et les rongeurs en raison de différences en matière d'anatomie et de morphologie et de profil de répartition des particules (Bevan et coll. 2018; Clippinger et coll. 2018; Warheit et coll. 2016). Chez le rat, une surcharge d'exposition aux PPS par inhalation s'est révélée causer de l'inflammation. Cependant, cette réponse a été considérée comme propre à l'espèce et comme une surcharge de particules dans les poumons plutôt que comme un

effet propre à la substance, et n'est probablement pas pertinente chez l'humain (ECETOC 2013; API 2008). Aucune étude épidémiologique n'a montré d'association entre l'exposition aux PPS et l'apparition d'une toxicité aux poumons chez les travailleurs après une exposition à long terme aux PPS (Warheit et coll. 2016). Il a été rapporté que le dépôt de particules fines de cokes de pétrole entraîne une hyperplasie de l'épithélium, de l'inflammation et une fibrose chez le rat, mais pas chez les singes, ce qui laisse supposer que les rats ne sont pas un bon modèle pour prédire une réponse à des concentrations élevées de PPS inhalées chez les humains et les primates non humains (Warheit et coll. 2016; Nikula et coll. 1997). Ce résultat concorde avec ceux des études mentionnées ci-dessus qu'une exposition à court ou à long terme à des cokes de pétrole cause de l'inflammation pulmonaire chez le rat uniquement après une exposition à des doses élevées, mais pas chez le singe ou l'humain (HLS 1999, mentionné dans API 2008; Klonne et coll. 1987). De plus, le rat semble être la seule espèce prédisposée à former des tumeurs aux poumons après une surcharge de particules due à une inhalation à long terme (Mauderly 1995).

L'examen des paramètres de la reproduction (accouplement, implantation, gestation) a révélé que 3 des 12 rates ne sont pas devenues gravides (1 ne s'est pas accouplée, 2 ce sont accouplées, mais ne sont pas devenues gravides) et 1 des 9 mères n'a donné aucun foetus vivant dans le groupe de traitement à 300 mg/m<sup>3</sup>. Les auteurs ont rapporté que ces changements n'étaient pas statistiquement significatifs, mais qu'ils étaient hors des limites historiques des groupes témoin. Ces effets ont été considérés comme liés au traitement par les auteurs qui ont proposé une DSENO de 100 mg/m<sup>3</sup> établie pour les effets sur la reproduction. Il n'y a eu aucune différence dans les autres paramètres pour la reproduction et le développement (survie de la portée, poids corporel ou taille) entre les rats du groupe de traitement et ceux du groupe témoin, et aucune différence n'a été observée sur la survie et le poids corporel des rejetons (McKee et coll. 2014).

Certaines études (Caruso et coll. 2015; Hendryx et coll. 2016) ont trouvé que des résidants vivant à proximité d'une installation de production de coke (pétrole) dans le sud de Chicago ont rapporté des bronchites chroniques, de l'emphysème ou la maladie pulmonaire obstructive chronique (MPOC), un serrement de poitrine ainsi que de l'asthme, un sifflement et des symptômes neurologiques (maux de tête, migraines, difficultés de concentration, problèmes de mémoire et de sommeil, insomnies et anxiété ou nervosité). Les auteurs précisent toutefois qu'aucune association claire n'a pu être établie entre l'exposition à des particules de poussière de coke de pétrole et ses effets possibles, en raison de l'autoadministration du sondage, de la petite taille de l'échantillon, de l'endroit où la population vit, c.-à-d. près de zones industrielles et de routes principales, et du nombre inégal de variables, dont la race et l'origine ethnique (Hendryx et coll. 2016).

## 8.3 Caractérisation des risques pour la santé humaine

### 8.3.1 Air

*Exposition à long terme* : Pour une exposition par inhalation à long terme, une CMENO de 10 mg/m<sup>3</sup> pour les particules fines provenant de cokes de pétrole a été établie dans une étude de 2 ans sur des rats SD par l'augmentation du poids des poumons et des signes d'inflammation des poumons. Il s'agit d'une estimation prudente pour les humains et les primates qui ne manifestent pas les mêmes effets. À l'aide des concentrations moyennes annuelles des particules les plus élevées (25-36 µg/m<sup>3</sup>) mesurées près d'installations urbaines de production de coke de pétrole et en présument qu'il contient du coke (pétrole), cela donne une marge d'exposition (ME) d'environ 400-280. Les ME des installations urbaines de stockage de coke de pétrole sont considérées comme suffisantes pour tenir compte des incertitudes dans les bases de données sur l'exposition et les effets sur la santé humaine. Les expositions à long terme aux cokes de pétrole des piles de stockage de la région des sables bitumineux de l'Athabasca, des usines d'acier et d'aluminium à Hamilton et des installations de grillage donnent des concentrations de coke de pétrole en suspension dans l'air plus faibles et des ME qui sont considérées comme suffisantes pour tenir compte des incertitudes dans les bases de données sur l'exposition et les effets sur la santé humaine.

*Exposition à court terme* : Les concentrations moyennes quotidiennes de particules de diamètre égal ou inférieur à 10 µm mesurées près d'installations de stockage et de transport de cokes de pétrole à Chicago (en supposant qu'elles sont entièrement attribuées aux particules fines qui se détachent des cokes de pétrole), était tout au plus de 100 µg/m<sup>3</sup>. Par comparaison à la CMENO de 45 mg/m<sup>3</sup> établie pour l'exposition par inhalation à court terme chez le rat par l'inflammation des poumons due aux particules fines provenant des cokes de pétrole, laquelle est prudente, car elle est appliquée aux humains et à d'autres primates, la ME associée à la pire exposition d'un jour est d'environ 450. D'après ces considérations toxicologiques, la ME estimée est prudente et les marges calculées sont suffisantes pour tenir compte des incertitudes dans les bases de données sur l'exposition et les effets sur la santé humaine.

Les études ont révélé que l'exposition aux particules fines de coke (pétrole) ou de coke calciné n'a entraîné aucune toxicité générale, cancérogénicité, génotoxicité ou modification importante dans l'appareil reproducteur ou pour le développement chez les animaux ou *in vitro* (USEPA 2011; API 2008).

Les effets sur la santé des HAP, du vanadium et du nickel présents dans les particules fines de cokes de pétrole en suspension dans l'air n'ont pas été caractérisés puisque ces substances sont intégrées dans les particules de cokes de pétrole et ne devraient pas être biodisponibles d'après l'absorption des particules de cokes de pétrole. En outre, aucun effet toxique associé au B[a]P, au vanadium et au nickel n'a été observé chez les animaux exposés aux particules de poussière de coke (pétrole).

### **8.3.2 Sol**

Des particules provenant des cokes de pétrole ont été observées dans des échantillons de sol dans des sites adjacents aux piles de stockage de la région des sables bitumineux de l'Athabasca (Zhang et coll. 2016a). Les études d'exposition à long terme à du coke (pétrole) en suspension dans de l'huile minérale n'ont révélé aucun effet lié au traitement (dont le cancer) chez des souris C3H (Wingate et Hepler 1982, mentionné dans USEPA 2011; API 2008). Le contact cutané fortuit avec des cokes de pétrole provenant de piles de stockage, dispersés dans le sol, ne devrait donc pas être préoccupant pour la santé humaine.

Tous les effets sur la santé suivant une exposition par inhalation à des cokes de pétrole sont propres aux poumons et il n'y a aucun effet général sur la santé découlant d'une exposition par inhalation. Par conséquent, selon les indications, l'exposition fortuite par voie orale aux cokes de pétrole du sol ne devrait pas être préoccupante pour la santé humaine.

Le lessivage des cokes de pétrole dans le sol et la poussière des régions adjacentes aux installations urbaines de stockage de coke est faible. Par conséquent, la probabilité d'exposition de la population générale aux cokes de pétrole provenant du sol près de piles de stockage urbaines de coke (pétrole) est faible et les risques pour la santé humaine associés à cette source sont considérés comme faibles.

### **8.3.3 Eau**

Les renseignements présentés dans la section 7.3 indiquent que le ruissellement des grandes piles de stockage de coke de pétrole de la région des sables bitumineux de l'Athabasca n'augmente pas les concentrations d'HAP, de vanadium et de nickel en aval dans l'eau de surface. Par conséquent, l'exposition de la population générale à ces substances dans l'eau provenant du ruissellement des piles de stockage de la région des sables bitumineux de l'Athabasca et, de façon similaire, des piles de stockage de coke (pétrole) ou de coke calciné de milieux urbains et suburbains plus petits, devrait être faible et les risques pour la santé humaine associés à cette source sont considérés comme faibles.

## **8.4 Incertitudes dans l'évaluation des risques pour la santé humaine**

Comme il n'existe aucune mesure de surveillance de l'air ou du sol aux installations de production de cokes de pétrole au Canada, il y a des incertitudes à étendre les résultats de l'étude de Chicago sur la libération de cokes de pétrole dans le sol de lieux adjacents ainsi que les mesures de PM<sub>10</sub> des installations de transport de cokes de pétrole à des installations similaires au Canada. De même, il existe des incertitudes à appliquer les résultats de l'étude sur l'usine de grillage du coke à la qualité de l'air de la ville adjacente en Argentine à des installations de grillage au Canada.

Il existe des incertitudes dans la quantité exacte de coke de pétrole qui est produit, mis en piles de stockage et transporté dans des installations de transport et dans la région des sables bitumineux de l'Athabasca en Alberta et d'autres régions du Canada. Un changement du nombre de piles de stockage et de l'état de transformation et l'état physique des cokes de pétrole stockés peut faire varier la répartition par taille des particules libérées des piles de stockage dans l'atmosphère. Il n'existe aucune étude sur la libération de PM<sub>10</sub> issues des cokes de pétrole pendant le transport et le stockage, plus particulièrement pendant le déchargement, le chargement, la mise en piles de stockage et le transport.

Les principales sources d'incertitudes sont présentées dans le tableau 8-1.

**Tableau 8-1 Sources d'incertitudes dans la caractérisation des risques**

Principales sources d'incertitudes	Impact
Il n'existe aucune donnée canadienne de surveillance de la qualité de l'air sur les émissions de PM <sub>10</sub> par les installations de production de cokes de pétrole. Les données de surveillance du Programme du RNSPA proviennent de postes éloignés d'installations de production de coke de pétrole connus.	+/-
Il n'existe aucune étude canadienne sur la surveillance de la libération de cokes de pétrole dans le sol et l'eau à proximité d'installations.	+/-
Il n'existe aucune donnée canadienne de surveillance de la qualité de l'air sur les émissions de particules fines par les installations de grillage de coke et seules les valeurs de PM <sub>10</sub> provenant de postes de surveillance éloignés sont connues.	+/-
Il existe des incertitudes quant à la quantité exacte de coke de pétrole qui est produite, stockée et transportée dans des installations de transport de coke et dans la région des sables bitumineux de l'Athabasca en Alberta et d'autres régions du Canada. Si les piles de stockage augmentent, l'exposition régionale pourrait changer.	+/-
Il existe des incertitudes quant aux effets négatifs des particules fines de cokes de pétrole sur les populations vulnérables comme les enfants, les personnes âgées et les personnes atteintes de maladies chroniques telles que l'asthme, la bronchite ou une maladie cardiovasculaire.	-

+ = incertitude pouvant entraîner une surestimation de l'exposition/du risque; - = incertitude pouvant entraîner une sous-estimation de l'exposition/du risque; +/- = potentiel inconnu d'entraîner une surestimation ou une sous-estimation du risque.

## 9. Conclusion

Compte tenu de tous les éléments de preuve contenus dans la présente ébauche d'évaluation préalable, le coke (pétrole) et le coke calciné présentent un risque faible de causer des effets nocifs pour l'environnement. Il est proposé de conclure que le coke (pétrole) et le coke calciné ne satisfont pas aux critères énoncés aux alinéas 64a) et 64b) de la LCPE (1999), car ils ne pénètrent pas dans l'environnement en une quantité ou concentrations dans des conditions de nature à avoir, immédiatement ou à long

terme, un effet nocif sur l'environnement ou sur la diversité biologique, ou à mettre en danger l'environnement essentiel pour la vie.

À la lumière des renseignements contenus dans la présente ébauche d'évaluation préalable, il est proposé de conclure que le coke (pétrole) et le coke calciné ne satisfont pas aux critères énoncés à l'alinéa 64c) de la LCPE, car ils ne pénètrent pas dans l'environnement en une quantité ou concentration ou dans des conditions de nature à constituer un danger au Canada pour la vie ou la santé humaines.

Il est proposé de conclure que le coke (pétrole) et le coke calciné ne satisfont à aucun des critères énoncés à l'article 64 de la LCPE.

## Références

[AER] Alberta Energy Regulator. 2013. [ST39 2013: Alberta Mineable Oil Sands Plant Statistics Monthly Supplement December 2013 \[PDF\]](#). Alberta (CAN): Energy Resources Conservation Board. [Consulté le 28 mai 2019]. AER ST39. (Disponible en anglais seulement)

[AER] Alberta Energy Regulator. 2014. [ST39 2014: Alberta Mineable Oil Sands Plant Statistics Monthly Supplement December 2013 \[PDF\]](#). Alberta (CAN): Energy Resources Conservation Board. [Consulté le 28 mai 2019]. AER ST39. (Disponible en anglais seulement)

[AER] Alberta Energy Regulator. 2015. [ST39 2015: Alberta Mineable Oil Sands Plant Statistics Monthly Supplement December 2013 \[PDF\]](#). Alberta (CAN): Energy Resources Conservation Board. [Consulté le 28 mai 2019]. AER ST39. (Disponible en anglais seulement)

[AER] Alberta Energy Regulator. 2016. [ST39 2016: Alberta Mineable Oil Sands Plant Statistics Monthly Supplement December 2013 \[PDF\]](#). Alberta (CAN): Energy Resources Conservation Board. [Consulté le 28 mai 2019]. AER ST39. (Disponible en anglais seulement)

[AER] Alberta Energy Regulator. 2017a. [ST39 2017: Alberta Mineable Oil Sands Plant Statistics Monthly Supplement December 2013 \[PDF\]](#). Alberta (CAN): Energy Resources Conservation Board. [Consulté le 28 mai 2019]. AER ST39. (Disponible en anglais seulement)

[AER] Alberta Energy Regulator. 2017b. [AER products and services catalogue annual report \[PDF\]](#). Atmospheric and Environmental Research. [Consulté le 28 mai 2019]. AER ST98. (Disponible en anglais seulement)

[AER] Alberta Energy Regulator. 2018. [AER Crude Bitumen Production](#). Alberta (CAN): AER. [Consulté le 21 novembre 2018] (Disponible en anglais seulement)

[Alberta] [Alberta Ambient Air Quality Objectives](#). 2007. [Fine Particulate Matter \(PM2.5\)](#) Alberta Environment, Edmonton (AB): Government of Alberta [Consulté le 2 juillet 2019] (Disponible en anglais seulement)

[Alberta] [Alberta Ambient Air Quality Objectives and Guidelines Summary](#). 2018. Alberta Environment and Parks, Air Policy Branch, Edmonton (AB). [Consulté le 22 janvier 2022] (Disponible en anglais seulement)

Al-Haj-Ibrahim H, et BI Morsi. 1992. Desulphurization of petroleum coke: A review. *Ind Eng Chem.* 31(8):1835-1840. (Disponible en anglais seulement)

[API] American Petroleum Institute. 2000. Robust summary of information on petroleum coke [PDF]. Washington, DC (US): API [Consulté le 13 août 2018]. (Disponible en anglais seulement)

[API] American Petroleum Institute. 2008. Petroleum coke category analysis and hazard characterization. The American Petroleum Institute, Petroleum HPV Testing Group [PDF]. [Consulté le 28 mai 2019]. Consortium Registration #1100997. (Disponible en anglais seulement)

[API] American Petroleum Institute. 2014. Guidance document for the storage and handling of petroleum coke [PDF]. Washington, DC (US): American Petroleum Institute. [Consulté le 18 avril 2019]. (Disponible en anglais seulement)

[ASFC] Agence des services frontaliers canadiens. 2015. Confidential information on imports of petroleum coke not calcined and calcined (HS Codes 2713110000, 2713120000). Ottawa (Ont.) : ASFC, Division des opérations commerciales et liées aux échanges commerciaux. Information reçue par Environnement Canada pour les années civiles 2011 à 2014. (Disponible en anglais seulement)

ASTM International. [modified 2004]. Standard test method for volatile matter in green petroleum coke quartz crucible procedure. ASTM International. [Consulté le 28 mai 2019]. D 6374 – 99 (Ré-approuvé en 2004). (Disponible en anglais seulement)

[ATSDR] Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2016. Review of analysis of particulate matter and metal exposures in air [PDF]. Illinois, Chicago (US): KCBX (Chicago Petroleum Coke). [Consulté le 6 mai 2019]. (Disponible en anglais seulement)

Baker LF, Ciborowski JJ, et MD MacKinnon. 2012. Petroleum coke and soft tailings sediment in constructed wetlands may contribute to the uptake of trace metals by algae and aquatic invertebrates. *Sci Total Environ.* 414: 177-186. (Disponible en anglais seulement)

Bari MdA, et WB Kindzierski. 2015. Fifteen-year trends in criteria air pollutants in oil sands communities of Alberta, Canada. *Environ Inter.* 734: 200-208. (Disponible en anglais seulement)

Bari MdA, et WB Kindzierski. 2016. Evaluation of air quality indicators in Alberta, Canada – An international perspective. *Environ Inter.* 92-93(1): 119-129. (Disponible en anglais seulement)

Bevan RJ, Kreiling R, Levy LS, et DB Warheit. 2018. Toxicity testing of poorly soluble particles, lung overload and lung cancer. *Reg Toxicol Pharmacol.* 100:80-91. (Disponible en anglais seulement)

Birghila S, Popovici C, et A Dumitru. 2011. Study on physical-chemical properties of petroleum cokes. *Romanian J. Phys.* 56(7-8):976-982. (Disponible en anglais seulement)

Bytnarowicz A, Hsu Y-M, Percy K, Legge A, Fenn ME, Schilling S, Fraczek W, et D Alexander. 2016. Ground-level air pollution changes during a boreal wildland mega-fire. *Sci Total Environ.* 572: 755-769. (Disponible en anglais seulement)

[Canada] Gouvernement du Canada. 2008. Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie [PDF]. Ottawa (Ont.), gouvernement du Canada. [Consulté en septembre 2017].

[Canada] Gouvernement du Canada. 2012. Évaluation scientifique canadienne du smog : faits saillants et messages clés. Ottawa (Ont.), gouvernement du Canada. [Consulté en septembre 2017].

[Canada] Gouvernement du Canada. 2013. Programme du Réseau national de surveillance de la pollution atmosphérique. Ottawa (Ont.), gouvernement du Canada. [Consulté le 6 mai 2019].

[Canada] Gouvernement du Canada. 2017a. Fiches de renseignements et foire aux questions - Substances chimiques en bref. Ottawa (Ont.), gouvernement du Canada. [Consulté en septembre 2017].

[Canada] Gouvernement du Canada. 2017b. Base de données sur les importateurs canadiens (BDIC) 271312 – Coke de pétrole, calciné. Ottawa (Ont.), gouvernement du Canada. [Consulté le 21 novembre 2018].

Caruso JA, Zhang K, Schroeck NJ, McCoy B, et SP McElmurry SP. 2015. Petroleum Coke in the Urban Environment: A Review of Potential Health Effects. *Inter J Environ Res Public Health.* 29:12(6): 6218-6231. (Disponible en anglais seulement)

Caruso JA, et PM Stemmer. 2018. Petroleum coke exposure leads to altered secretome profiles in human lung models. *Hum Exp Toxicol* 37(11):1215-1232. (Disponible en anglais seulement)

[CAS] Cote air santé. 2018. Cote air santé (FAQ) [PDF]. Ottawa (Ont.), gouvernement du Canada. [Consulté le 18 avril 2019].

[CCHST] Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail. (2018). Quels sont les effets de la poussière sur les poumons? Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail. [Mis à jour le 3 janvier 2018; consulté le 28 mai 2019].

[CCME] Conseil canadiens des ministres de l'Environnement. 2019. Normes canadiennes de qualité de l'air ambiant. Winnipeg (Man.). [Consulté le 18 novembre 2019]

Chibwe L, Manzano CA, Muir D, Atkinson B, Kirk JL, Marvin CH, Wang X, Teixeira C, Shang D, Harner T, et AO De Silva. 2019. Deposition and source identification of nitrogen heterocyclic polycyclic aromatic compounds in snow, sediment, and air samples from the Athabasca Oil Sands Region. *Environ Sci Technol.* 53(6): 2981-2989. (Disponible en anglais seulement)

Clippinger AJ, Allen D, Jarabek AM, Corvarod M, Gaçae M, Gehenf S, Hotchkiss JA, Patlewiczh G, Melbournea J, Hinderliteri P, Yoonj M, Huhk D, Lowit A, Buckleyc B, Bartelsm M, BéruBén K, Wilsong DM, Indanso I, et M Vinkenp. 2018. Alternative approaches for acute inhalation toxicity testing to address global regulatory and non-regulatory data requirements: An international workshop report. *Toxicology In Vitro.* 48:53-70. (Disponible en anglais seulement)

CONCAWE. 1993. Petroleum Coke. Brussels, Belgium: CONCAWE. Report no. 93/105. (Disponible en anglais seulement)

CONCAWE. 2017. Hazard classification and labelling of petroleum substances in the European Economic Area [PDF]. Brussels, Belgium: CONCAWE. Report no. 13/17 [Consulté le 28 mai 2019]. (Disponible en anglais seulement)

[COSIA] Canada's Oil Sands Innovation Alliance (COSIA). 2017. Could petroleum coke, a byproduct of upgrading and a material that is almost pure carbon, be used to treat tailings? Collaborator Newsletter. Édition 11. [Consulté le 5 février 2019]. (Disponible en anglais seulement)

[COSIA] Canada's Oil Sands Innovation Alliance (COSIA). 2018. [COSIA Land EPA 2017 Mine Site Research Reclamation Research Report \[PDF\]](#). Calgary, Alb. [Consulté le 7 juillet 2019]. (Disponible en anglais seulement)

[CRS] Congressional Research Service. 2013. [Petroleum coke: Industry and environmental issues \[PDF\]](#). Washington DC (US): Congressional Research Service (Library of Congress). (Disponible en anglais seulement)

Dalbey WE, Blackburn GR, Roy TA, Sasaki S, Krueger AJ, Mackerer CR. 1998. Use of a surrogate aerosol in a preliminary screening for the potential carcinogenicity of coal coated with No. 6 fuel oil. *Am Ind hyg Assoc J.* 59(2):90-95. [Consulté le 28 mai 2019] (Disponible en anglais seulement)

Dimond WF. 2013. [Petroleum coke: Composition, aquatic toxicity, fate \[PDF\]](#). Michigan (US): State of Michigan. [Consulté le 28 mai 2019]. (Disponible en anglais seulement)

Di Toro DM, McGrath JA, et DJ Hansen. 2000. Technical basis for narcotic chemicals and polycyclic aromatic hydrocarbon criteria. I. Water and tissue. *Environ Toxicol Chem* 19(8):1951–70. (Disponible en anglais seulement)

Di Toro DM, et JA McGrath. 2000. Technical basis for narcotic chemicals and polycyclic aromatic hydrocarbon criteria. II. Mixtures and sediments. *Environ Toxicol Chem* 19(8):1971–82. [mentionné dans DiToro et coll. 2000] (Disponible en anglais seulement)

Dourson ML, Chinkin LR, MacIntosh DL, Finn JA, Brown KW, Reid SB, et JM Martinez. 2016. A case study of potential human health impacts from petroleum coke transfer facilities, *J. Air Waste Manag. Assoc.* 66(11): 1061-1076. (Disponible en anglais seulement)

[ECCC] Environnement et Changement climatique Canada. 2013. [Backgrounder: Canadian ambient air quality standards](#). Ottawa (Ont). [Consulté le 6 mai 2019]. (Disponible en anglais seulement)

[ECCC] Environnement et Changement climatique Canada. 2016a. Données recueillies en vertu de l'article 71 de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement* (1999). Avis concernant certaines substances pétrolières de priorité élevée apparaissant sur la Liste intérieure. Données préparées par Environnement et Changement climatique Canada, Ligne d'information de la gestion des substances.

[ECCC] Environnement et Changement climatique Canada. 2016b. [Loi canadienne sur la protection de l'environnement \(1999\), recommandations fédérales pour la qualité de l'environnement vanadium \[PDF\]](#). Ottawa (Ont.), Environnement et Changement climatique Canada. [Consulté le 21 janvier 2019].

[ECETOC] European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals. 2013. Poorly Soluble Particles/Lung Overload. Technical Report No. 122. (Disponible en anglais seulement)

Edwards S. 2015. [The history and future challenges of calcined petroleum coke production and use in aluminum smelting](#). *JOM (The Journal of Minerals, Metals & Materials Society)* 67: 308-321. (Disponible en anglais seulement)

[EIA] U.S. Energy Information Administration. 2017. [Exports by destination petroleum coke](#). Washington, DC (US): U.S. Department of Energy. [Consulté en septembre 2017]. (Disponible en anglais seulement)

Ellis PJ, et CA Paul. 1998. [Tutorial: delayed coking fundamentals \[PDF\]](#). Port Arthur, Texas (US): Great Lakes Carbon Corporation. [Consulté le 29 mai 2019]. (Disponible en anglais seulement)

Ellis PJ, et CA Paul, American Institute for Chemical Engineers. 2000a. [Tutorial: Petroleum coke calcining and uses of calcined petroleum coke \[PDF\]](#). Atlanta, Georgia (US): Great Lakes Carbon Corporation. [Consulté le 28 mai 2019]. (Disponible en anglais seulement)

Ellis PJ, et CA Paul. 2000b. [Tutorial: Delayed coking fundamentals \[PDF\]](#). New Orleans, Los Angeles (US). [Consulté le 28 mai 2019]. Non publié. (En anglais seulement)

Environnement Canada. 2015. [Supporting Documentation: Summary of empirical aquatic and terrestrial toxicity data for representative structures of coal tars and their distillation products and an explanation of the Toxic Units Approach. Information in support of the Draft Screening Assessment for coal tars and their distillates.](#) Gatineau (Qc), Environnement Canada, Division de l'évaluation écologique. [Offert sur demande.] (Disponible en anglais seulement)

Environnement Canada, Santé Canada. 1994. [Loi canadienne sur la protection de l'environnement – Liste des substances d'intérêt prioritaire rapport d'évaluation : hydrocarbures aromatiques polycycliques \[PDF\]](#). Ottawa (Ont.), Environnement Canada, Santé Canada. Gouvernement du Canada [Consulté en novembre 2015].

Environnement Canada, Santé Canada. 1996. [Le nickel et ses composés – LSIP1 \[PDF\]](#). Ottawa (Ont.), Environnement Canada, Santé Canada, gouvernement Canada. [Consulté le 7 mai 2019].

Environnement Canada, Santé Canada. 1999. [National ambient air quality objectives for ground-level ozone – science assessment document \[PDF\]](#). Ottawa (Ont.) : gouvernement du Canada. [Consulté le 15 mai 2019]. (Disponible en anglais seulement)

Environnement Canada, Santé Canada. 2000. [Canadian Environmental Protection Act: Priority Substances List assessment report for respirable particulate matter less than or equal to 10 microns \[PDF\]](#). Ottawa (Ont.) : Environnement Canada, Santé Canada. [Consulté en septembre 2017 September].

Environnement Canada, Santé Canada. 2001. [Loi canadienne sur la protection de l'environnement – Liste des substances d'intérêt prioritaire rapport d'évaluation pour les rejets des fonderies de cuivre de première et de deuxième fusion et des affineries de cuivre – rejets des fonderies de zinc de première et de deuxième fusion et des affineries de zinc \[PDF\]](#). Ottawa (Ont.), Environnement Canada, Santé Canada. [consulté en septembre 2017].

Environnement Canada, Santé Canada. 2010. [Ébauche d'évaluation préalable pour le défi concernant le pentoxyde de divanadium \[PDF\]](#). Ottawa (Ont.), Environnement Canada, Santé Canada. Numéro de registre du Chemical Abstracts Service 1314-62-1. [Consulté le 12 octobre 2018].

[FS] Fiches signalétiques. 2015. Coke de pétrole. Pétrolière Impériale. Calgary (Alb.)

[ERCB] Energy Resources Conservation Board. 2011. [Alberta's energy reserves 2010 and supply/demand outlook 2011-2020 \[PDF\]](#). Calgary (AB): Energy Resources Conservation Board. [Consulté le 28 mai 2019]. ST98-2011. (Disponible en anglais seulement)

Fedorak PM, et DL Coy. 2006. Oil sands cokes affect microbial activities. *Fuel*. 85(12-13):1642-1651. (Disponible en anglais seulement)

Gopalapillai Y, Kirk JL, Landis MS, Muir DCG, Cooke CA, Gleason A, Ho A, Kelly E, Schindler D, Wang X, et G Lawson. 2019. Source Analysis of Pollutant Elements in Winter Air Deposition in the

Athabasca Oil Sands Region: A Temporal and Spatial Study. *ACS Earth Space Chem.* 3:1656-1668. (Disponible en anglais seulement)

Gouvernement de l'Alberta. [Modifié en 2018]. About Oil Sands. Alberta : gouvernement de l'Alberta. [Consulté le 5 février 2018]. (Disponible en anglais seulement)

[HAMN] Hamilton Air Monitoring Network. 2017. 2017 Annual air quality monitoring report [PDF]. Hamilton (Ont.) : Halton Region. [Consulté le 19 novembre 2018]. (Disponible en anglais seulement)

Hendryx M, Entwhistle J, Kenny E, et P Illyn. 2016. Health status among urban residents living in proximity to petroleum coke storage: a first examination. *Int J Environ Health Res.* 26(5-6):497-507. (Disponible en anglais seulement)

Hill JM, Karimi A, et M Malekshahian. 2014. Characterization, gasification, activation, and potential uses for the millions of tonnes of petroleum coke produced in Canada each year. *Can J Chem Eng.* 92(2):1618-1626. (Disponible en anglais seulement)

High Production Volume Testing Group. 2007. Petroleum Coke Category Analysis and Hazard Characterization. Présenté à l'Environmental Protection Agency des États-Unis par l'American Petroleum Institute Petroleum HPV Testing Group. (Disponible en anglais seulement)

[HLS] Huntingdon Life Sciences. 1999. Calcined coke (F284) & green coke (F-285): Fibrogenic screening study in the rat. La Palma (CA): Huntingdon Life Sciences. Study No. 97-6119. Rapport présenté à ARCO (Atlantic Richfield Company) le 20 octobre 1999. (Disponible en anglais seulement)

[Jacobs] Jacobs Consultancy. 2019. Calciners. Jacobs Consultancy. Houston, TX. [Consulté le 25 janvier 2019] (Disponible en anglais seulement)

Jautzy JJ, Ahad JME, Gobeil C, Smirnoff A, Barst BD, et MM Savard. 2015. Isotopic evidence of oils sands petroleum coke in the Peace-Athabasca Delta. *Environ Sci Tech.* 49(20):12062-12070. (Disponible en anglais seulement)

Jensen-Fontaine M, Norwood WP, Brown M, Dixon DG, Le XC. 2014. Uptake and speciation of vanadium in the benthic invertebrate *Hyalella azteca*. *Environ Sci Technol* 48:731-738. (Disponible en anglais seulement)

Jongeneelen FJ, Anzion RB, Theuws JL, Bos RP. 1989. Urinary 1-hydroxypyrene levels in workers handling petroleum coke. *J Toxicol Environ Health.* 26(1):133-136. (Disponible en anglais seulement)

[JOSM] Programme conjoint Canada-Alberta de surveillance environnementale visant les sables bitumineux. [Modifié en 2019]. Surveillance de la qualité de l'eau sur les sites des sables bitumineux en Alberta. Gouvernement du Canada. [Mis à jour le 17 juin 2019: consulté le 3 octobre 2019].

[JOSM] Programme conjoint Canada-Alberta de surveillance environnementale visant les sables bitumineux. [Modifié en 2018]. Carte de la région des sables bitumineux de surveillance. Gouvernement du Canada. [Mis à jour le 3 mars 2018 3: consulté le 16 mai 2019].

Kessler S, et MJ Hendry. 2006. Geochemistry and leaching of coke from Syncrude and Suncor sites. Rapport présenté à Syncrude Canada Ltd. et à Suncor Energy Inc. [mentionné dans Jensen-Fontaine et coll. 2014]. (Disponible en anglais seulement)

Klonne DR, Burns JM, Halder CA, Holdsworth CE, et CE Ulrich. 1987. Two-year inhalation toxicity study of petroleum coke in rats and monkeys. *Am J Ind Med.* 11(3):375–389. (Disponible en anglais seulement)

Landis MS, Edgerton ES, White EM, Wentworth GR, Sullivan AP, et AM Dillner. 2016. The impact of the 2016 Fort McMurray Horse River Wildfire on ambient air pollution in the Athabasca Oil Sands Region, Alberta, Canada. *Sci Total Environ.* 618(15):1665-1676. (Disponible en anglais seulement)

Landis MS, Pancras JP, Graney JR, White EM, Edgerton ES, Legge A, et KE Percy. 2017. Source apportionment of ambient fine and coarse particulate matter at the Fort McKay community site, in the Athabasca Oil Sands Region, Alberta, Canada. *Sci Total Environ.* 584-585(15):105-117. (Disponible en anglais seulement)

Landis MS, Studabaker WB, Pancras JP, Graney JR, Puckett K, White EM, et ES Edgerton. 2019. Source apportionment of an epiphytic lichen biomonitor to elucidate the sources and spatial distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in the Athabasca Oil Sands Region, Alberta, Canada. *Sci Total Environ.* 654(1):1241-1257. (Disponible en anglais seulement)

Lee JM, Baker JJ, Murray D, Llerena R, et JG Rolle. 1997. Quality analysis of petroleum cokes and coals for export specifications required in use of specialty products and utility fuels. *Amer Chem Soc.* 42:844-853. 214<sup>th</sup> National Meeting. (Disponible en anglais seulement)

Manzano CA, Marvin C, Muir D, Harner T, Martin J, et Y Zhang. 2017. Heterocyclic aromatics in petroleum coke, snow, lake sediments, and air samples from the Athabasca oil sands region. *Environ Sci Technolog.* 51(10):5445-5453. (Disponible en anglais seulement)

Mauderly JL, et RJ McCunney. 1995. Particle overload in the rat lung and lung cancer: Implications for human risk assessment: Proceedings of a conference held at the Massachusetts Institute of Technology on March 29 and 30, 1995 [PDF]. Washington DC (US): Taylor & Francis. [Consulté le 28 mai 2019]. (Disponible en anglais seulement)

McKee RH, Herron D, Beatty P, Podhasky P, Hoffman GM, Swigert J, Lee C, et D Wong. 2014. Toxicological assessment of green petroleum coke. *Inter J Toxicol.* 33(1 Suppl.):156S-167S. (Disponible en anglais seulement)

[MDEQ] Michigan Department of Environmental Quality. 2014. File for petroleum coke [PDF]. Lansing, MI. [Consulté le 13 août 2018]. (Disponible en anglais seulement)

[MSDS] Material Safety Data Sheet. 2003a. Petroleum coke anode fluid and fuel grade. Huskey Energy. Lima (OH). (Disponible en anglais seulement)

[MSDS] Material Safety Data Sheet. 2003b. Brake shoe and lining assembly. Federal Mogul. Concord (Ont.). (Disponible en anglais seulement)

[MSDS] Material Safety Data Sheet. 2008. Friction material H. Satisfied Brake Products. Cornwall (Ont.). (Disponible en anglais seulement)

[MSDS] Material Safety Data Sheet. 2011a. Green petroleum coke. Petrobas. Rotterdam (Pays-Bas) (Disponible en anglais seulement)

[MSDS] Material Safety Data Sheet. 2011b. Calcined petroleum needle coke with dust suppressant. Seadrift Coke. Port Lavaca (TX) (Disponible en anglais seulement)

[MSDS] Material Safety Data Sheet. 2012. Petroleum coke. Tesoro. San Antonio (TX). (Disponible en anglais seulement)

[MSDS] Material Safety Data Sheet. 2014. Petroleum coke. Holly Frontier Refining. Dallas (TX). (Disponible en anglais seulement)

[MSDS] Material Safety Data Sheet. 2016a. Limak. Paste for electrodes. Rheinfelden Carbon GmbH. Rheinfelden (Allemagne). (Disponible en anglais seulement)

[MSDS] Material Safety Data Sheet. 2016b. Baked carbon / calcined petroleum coke. Graphite Sales, Inc. Chagrin Falls (OH) (Disponible en anglais seulement)

Nakata C, Qualizza C, MacKinnon M, et S Renault. 2011. Growth and physiological responses of *Triticum aestivum* and *Deschampsia caespitosa* exposed to petroleum coke. *Water Air Soil Poll.* 216(1-4):59-72. (Disponible en anglais seulement)

[NAM] National Association of Manufacturers. 2015. Petroleum Coke: Essential to manufacturing [PDF]. [Consulté le 1<sup>er</sup> mars 2019]. (Disponible en anglais seulement)

Nesbitt JA, Lindsay MBJ, et N Chen. 2017. Geochemical characteristics of oil sands fluid petroleum coke. *Appl Geochem.* 76 (2017): 148-158. (Disponible en anglais seulement)

Nikula KJ, Avila KJ, Griffith WC, Mauderly JL. 1997. Lung tissue responses and sites of particle retention differ between rats and cynomolgus monkeys exposed chronically to diesel exhaust and coal dust. *Fund. Appl. Toxicol.* 37(1):37–53. (Disponible en anglais seulement)

Olin SS. 2000. The relevance of the rat lung response to particle overload for human risk assessment: A workshop consensus report. *Inhal Toxicology*. 12:1-17. (Disponible en anglais seulement)

Onder H, et EA Bagdoyan. 1993. Everything you wanted to know about petroleum coke, a handbook. [mentionné dans API 2008]. (Disponible en anglais seulement)

[Ontario] Ministère ontarien de l'Environnement et de l'Action en matière de changement climatique. 1994. Water management: Policies, guidelines, provincial water quality objectives. Toronto (Ont.) : Queens Printer for Ontario. [Mis à jour le 28 mars 2019, consulté le 21 janvier 2019]. (Disponible en anglais seulement)

[Ontario] Ministère ontarien de l'Environnement. 2011. Soil, ground water and sediment standards for use under Part XV.1 of the Environmental Protection Act. Toronto (Ont.) : Queens Printer for Ontario. [Consulté le 16 novembre 2018]. (Disponible en anglais seulement)

[Ontario] Ministère de l'Environnement, de la Protection de la nature et des Parcs. 2018. Ontario's Ambient Air Quality Criteria - Sorted by Contaminant Name. Toronto (Ont.) : Queens Printer for Ontario. [Consulté le 19 novembre 2018]. (Disponible en anglais seulement)

[Ottawa] Ville d'Ottawa. 2011. Guide for discharging wastewater from industrial facilities [PDF]. Ottawa (Ont.) : Ville d' Ottawa. [Consulté le 21 janvier 2019]. (Disponible en anglais seulement)

[Ottawa] Ville d'Ottawa. [Modifié en 2018]. Purification, qualité et distribution de l'eau potable, réseaux de puits municipaux, le processus de purification et traitement de l'eau. Ottawa (Ont.), Ville d'Ottawa. [Consulté le 27 mars 2018].

Parkash S. 2010. Petroleum Coke; p. 141–164. In: Petroleum Fuels Manufacturing Handbook: Including Specialty Products and Sustainable Manufacturing Techniques. McGraw-Hill (USA). p. 1–444. (Disponible en anglais seulement)

Parrott JL, Marentette JR, Hewitt LM, McMaster ME, Gillis PL, Norwood WP, Kirk JL, Peru KM, Headley JV, Wang Z, Yang C, et RA Frank. 2017. Meltwater from snow contaminated by oil sands emissions is toxic to larval fish, but not spring river water. *Sci. Total Enviro.* 625: 264-274. (Disponible en anglais seulement)

Predel H. 2014. Petroleum Coke. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Germany: Wiley. (Disponible en anglais seulement)

Puttaswamy N, Turcotte D, et K Liber. 2010. Variation in toxicity response of Ceriodaphnia dubia to Athabasca oil sands coke leachates. *Chemosphere*. 80(5):489-497. (Disponible en anglais seulement)

Puttaswamy N, et K Liber K. 2011. Identifying the causes of oil sands coke leachate toxicity to aquatic invertebrates. *Environ Toxicol Chem*. 30(11):2576-2585. (Disponible en anglais seulement)

Rain Carbon Incorporated. 2016. Produits du carbone. Stamford CT, Rain Carbon Incorporated. [Consulté le 25 janvier 2019]

[RAMP] Regional Aquatics Monitoring Program. [Modifié, 2019a]. Monitoring Database. Alberta (CAN): Alberta Environment and Parks. [Consulté le 16 mai 2019]. (Disponible en anglais seulement)

[RAMP] Regional Aquatics Monitoring Program. [Modifié, 2019b]. Monitoring locations map. Alberta (CAN): Alberta Environment and Parks. [Consulté le 16 mai 2019]. (Disponible en anglais seulement)

Santé Canada. 1998. Objectifs nationaux de qualité de l'air ambiant quant aux matières particulières. Sommaire. Partie 1 : rapport d'évaluation scientifique. Ottawa (Ont.), Bureau de la qualité de l'eau et de l'air, Santé Canada. [Consulté le 15 avril 2019].

Santé Canada. 2012. Document de conseils sur les particules fines (PM<sub>2,5</sub>) dans l'air intérieur résidentiel [PDF]. Ottawa (Ont.), Santé Canada. [Consulté le 15 avril 2019].

Santé Canada. 2013. Évaluation scientifique canadienne du smog. Volume 2 : effets sur la santé. Ottawa (Ont.). [Consulté le 18 novembre 2019]

Santé Canada. 2016a. Évaluation des risques pour la santé humaine des particules grossières [PDF]. Ottawa (Ont.), Bureau de la qualité de l'eau et de l'air, Santé Canada. [Consulté le 15 avril 2019].

Santé Canada. 2016b. Méthode fondée sur la biosurveillance 1 concernant les substances suivantes : beryllium, oxytrichlorure de vanadium et oxyde de vanadium [PDF]. Ottawa (Ont.), Canada. Bureau de la qualité de l'eau et de l'air, Santé Canada. [Consulté le 15 avril 2019]

Santé Canada 2016c. Évaluation des risques pour la santé humaine du dioxyde de souffre (Nº CAS : 7446-0905) [PDF]. Ottawa (Ont.), Bureau de la qualité de l'eau et de l'air, Santé Canada. [Consulté le 18 novembre 2019]

Schiffer S, K Liber. 2017. Toxicity of aqueous vanadium to zooplankton and phytoplankton species of relevance to the athabasca oil sands region. *Ecotoxicol Environ Saf* 137: 1-11. (Disponible en anglais seulement)

Singh D, Johnson GT, et RD Harbison. 2015. Human health risk characterization of petroleum coke calcining facility emissions. *Regul Tox Pharmacol.* 73(3):706-711. (Disponible en anglais seulement)

Speight JG. 2014. The chemistry and technology of petroleum. 5<sup>th</sup> ed. Boca Raton (FL): CRC Press. (Disponible en anglais seulement)

Squires AJ. 2005. Ecotoxicological assessment of using coke in aquatic reclamation strategies at the Alberta oil sands [master's thesis] [PDF]. Saskatoon (SK): University of Saskatchewan. (Disponible en anglais seulement)

Statistique Canada. 2013. Approvisionnement et utilisation des produits pétroliers raffinés au Canada [PDF]. Canada, Statistique Canada. [Consulté en octobre 2017]. N° 45-004-X au catalogue.

Statistique Canada. 2017. Approvisionnement et utilisation des produits pétroliers raffinés [PDF]. Canada, Statistique Canada. [Consulté en octobre 2017]. Tableau 134-0004.

Statistique Canada. 2020. Approvisionnement et utilisation de produits pétroliers raffinés, mensuel. Canada, Statistique Canada. [Consulté en janvier 2020]. Tableau 25-10-0044-01.

Stöber W, Einbrodt HJ, et W Klosterkötter. 1967. Quantitative studies of dust retention in animal and human lungs after chronic inhalation. In: Davies CN (Ed.) *Inhaled Particles and Vapours II*, Pergamon Press, Oxford, p. 409–417. (Disponible en anglais seulement)

Stockman L. 2013. Petroleum coke: the coal hiding in the tar sands [PDF]. Washington DC (US): Oil Change International. [Consulté le 29 mai 2019]. (Disponible en anglais seulement)

Sun X, Hwang JY, Huang X, Li B. 2009. Petroleum coke particle size effects on the treatment of EAF dust through microwave heating. *Journal of Materials Characterisation and Engineering*. 8(4): 249-259 [Mentionné dans Birghila et coll. 2011]. (Disponible en anglais seulement)

[Suncor] Suncor Energy Inc. 2018. Rapport sur le développement durable 2018. [Consulté le 14 novembre 2018]

[Suncor] Suncor Energy Inc. 2019. Coke de pétrole. [Consulté le 29 mai 2019]

[USEPA] Environmental Protection Agency des États-Unis. 2006. 40 CFR part 50. National ambient air quality standards for particular matter; final rule [PDF]. Washington, DC (US): Federal Register. [Consulté le 19 novembre 2018]. (Disponible en anglais seulement)

[USEPA] Environmental Protection Agency des États-Unis. 2011. Screening-level hazard characterization. petroleum coke category [PDF]. Washington, DC (US): Environmental Protection Agency des États-Unis. [Mis à jour le 29 mai 2019; consulté le 13 août 2018]. (Disponible en anglais seulement)

[USEPA] Environmental Protection Agency des États-Unis. 2015. National ambient air quality standards table. Washington, DC (USA): Environmental Protection Agency des États-Unis. [Consulté le 6 mai 2019]. (Disponible en anglais seulement)

von Gunten K, Alam MS, Hubmann M, Ok YS, Konhauser KO, et DS Alessi. 2017. Modified sequential extraction for biochar and petroleum coke: Metal release potential and its environmental implications. *Bioresource Technol.* 236:106-110. (Disponible en anglais seulement)

Warheit DB, Kreiling R, et LS Levy LS. 2016. Relevance of the rat lung tumor response to particle overload for human risk assessment—Update and interpretation of new data since ILSI 2000. *Toxicology* 374:42-59. (Disponible en anglais seulement)

Wildlife International Ltd. 2007a. Petroleum coke: A 96-hour toxicity test with the freshwater alga (*Selenastrum capricornutum*) [PDF]. Amended Final Report. Easton (MD): Wildlife International, Ltd. Project number: 472A-114. [Consulté le 29 mai 2019]. (Disponible en anglais seulement)

Wildlife International, Ltd. 2007b. Petroleum coke: A 48-hour static-renewal acute immobilisation test with the cladoceran (*Daphnia magna*) [PDF]. Amended Final Report. Easton (MD): Wildlife International, Ltd. [accessed 2019 May 30]. Project number: 472A-112. (Disponible en anglais seulement)

Wildlife International, Ltd. 2007c. Petroleum coke: A 96-hour static-renewal acute toxicity test with the fathead minnow (*Pimephales promelas*) [PDF]. Amended Final Report. Easton (MD): Wildlife International, Ltd. Project number: 472A-113. (Disponible en anglais seulement)

Wildlife International, Ltd. 2007d. Petroleum coke: A 14-day acute toxicity study with the earthworm in an artificial soil substrate [PDF]. Amended Final Report. Easton (MD): Wildlife International, Ltd. Project number: 472-101. [Consulté le 29 mai 2019]. (Disponible en anglais seulement)

Wildlife International, Ltd. 2007e. Petroleum coke: A 21-day toxicity test to determine the effects of the test substance on seedling emergence and growth of terrestrial plants [PDF]. Amended Final Report. Easton (MD): Wildlife International, Ltd. Project number: 472-102. (Disponible en anglais seulement)

Xing Z, et K Du. Particular matter emissions over the oils sands regions in Alberta, Canada. 2017. *Environ Rev.* 25(4): 432-443. (Disponible en anglais seulement)

Xu G. 2018. Atmospheric benzo[a]pyrene and vanadium evidence for the presence of petroleum coke dust in the Athabasca Oil Sands Region, Alberta, Canada. *J Clean Prod.* 171:592-599. (Disponible en anglais seulement)

Zhang Y, Shotyk W, Zaccone C, Noernberg T, Pelletier R, Bicalho B, Froese D G, Davies L, et JW Martin. 2016a. Airborne petcoke dust is a major source of polycyclic aromatic hydrocarbons in the Athabasca Oil Sands Region. *Environ Sci Tech.* 50(4):1711-1720. (Disponible en anglais seulement)

Zhang Y, Shotyk W, Zaccone C, Noernberg T, Pelletier R, Bicalho B, Froese D G, Davies L, et JW Martin. 2016b. **Supporting information:** Airborne petcoke dust is a major source of polycyclic aromatic hydrocarbons in the Athabasca Oil Sands Region. *Environ Sci Tech.* 50(4):1711-1720. (Disponible en anglais seulement)

## Annexe A. Résumé des données du poste de surveillance environnementale de la rivière Athabasca

Les tableaux A-1 et A-2 présentent un résumé des renseignements liés aux postes de surveillance qui sont utilisés dans les sections 6.2 et 6.3. La pile de stockage désigne la pile de stockage de coke de pétrole (principalement composés de coke [pétrole] de type carburant) de Tar Island dans la rivière Athabasca. On a calculé les distances par rapport à la pile de stockage à l'aide de Google Earth en mesurant un axe situé le long du centre de la rivière entre le poste de surveillance et le centre de Tar Island.

**Tableau A-1. Résumé des données utiles des postes de surveillance pour le Regional Aquatics Monitoring Program (RAMP 2019b)**

Lieu (par rapport à la pile de stockage)	Nom du poste	Distance de la pile de stockage (km)	Analytes (matrice <sup>a</sup> )
En amont	ATR-DC-CC	23	Métaux (E,S), HAP (E,S)
En amont	ATR-DC-E	23	Métaux (E,S), HAP (E,S)
En amont	ATR-DC-W	23	Métaux (E,S), HAP (E,S)
Adjacent	ATR-SR-E	0	Métaux (E,S), HAP (E,S)
Adjacent	ATR-SR-W	0	Métaux (E,S), HAP (E,S)
En aval	ATR-MR-E	14	Métaux (E,S), HAP (E,S)
En aval	ATR-MR-W	14	Métaux (E,S), HAP (E,S)

<sup>a</sup> E = eau, S = sédiments

**Tableau A-2. Résumé des données utiles des postes de surveillance pour le Joint Oil Sands Monitoring Program (JOSM 2018)**

Lieu (par rapport à la pile de stockage) <sup>a</sup>	Nom du poste	Distance de la pile de stockage (km)	Analytes (matrice <sup>b</sup> )
En amont	AL07DD0008	21	Métaux (E), HAP (E)
En amont	M3	22	Métaux (S)
Adjacent <sup>b</sup>	AL07DD0004	15 (en aval)	Métaux (E), HAP (E)
Adjacent <sup>b</sup>	M4	15 (en aval)	Métaux (S)
En aval	AL07DD0005	18	Métaux (E), HAP (E)
En aval	M9	> 100	Métaux (S)

<sup>a</sup> Les lieux ont été déterminés à l'aide des critères suivants : le lieu en amont désigne le poste de surveillance le plus proche en amont de la pile de stockage de coke de pétrole sur Tar Island. Le lieu adjacent désigne le poste de surveillance le plus proche en aval de la pile de stockage. Le lieu en aval désigne le poste de surveillance le plus proche en aval. En raison de l'absence de poste de surveillance très proche de la pile de stockage de Tar Island, il y a eu dans certains cas un poste adjacent et un poste en aval plus proches l'un de l'autre qu'avec la pile de stockage.

<sup>b</sup> E = eau, S = sédiments