



Enjeux de santé publique relatifs aux activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures gaziers et pétroliers

Enjeux de santé publique relatifs aux activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures gazières et pétrolières

Direction de la santé environnementale et de la toxicologie
Direction des risques biologiques et de la santé au travail

Mars 2015

AUTEURS

Chapitre sur la santé de la population

Eau (souterraine et de surface)

Pierre Chevalier, conseiller scientifique
Patrick Poulin, conseiller scientifique
Direction de la santé environnementale et de la toxicologie

Sols et sédiments

Mathieu Valcke, chercheur, expert d'établissement et responsable de l'équipe scientifique sur les risques toxicologiques et radiologiques
Marie-Hélène Bourgault, conseillère scientifique
Direction de la santé environnementale et de la toxicologie

Air ambiant

Audrey Smargiassi, chercheuse invitée et responsable de l'équipe scientifique sur la pollution de l'air
Direction de la santé environnementale et de la toxicologie

Urgences de santé publique

Lise Laplante, médecin conseil et responsable de l'équipe scientifique sur les urgences en santé environnementale
Rollande Allard, médecin conseil
Direction de la santé environnementale et de la toxicologie

Chapitre sur la santé des travailleurs

Georges Adib, conseiller scientifique
Direction des risques biologiques et de la santé au travail

COORDINATION

Christiane Thibault, chef du secteur de l'expertise toxicologique, Direction de la santé environnementale et de la toxicologie
Marie-Pascale Sassine, chef de l'unité santé au travail, Direction des risques biologiques et de la santé au travail
Leylà Deger, agente de planification, de programmation et de recherche, Direction de la santé environnementale et de la toxicologie

SOUTIEN À LA RECHERCHE DOCUMENTAIRE

Leylà Deger, agente de planification, de programmation et de recherche, Direction de la santé environnementale et de la toxicologie
Vicky Tessier, bibliothécaire, Direction du secrétariat général, des communications et de la documentation

MISE EN PAGES

Katia Raby, agente administrative, Direction de la santé environnementale et de la toxicologie

NOTE AU LECTEUR

Le présent rapport a été réalisé pour le compte du gouvernement du Québec dans le cadre des évaluations environnementales stratégiques (ÉES) annoncées le 30 mai 2014. Le contenu de ce document est celui des auteurs et n'engage pas le gouvernement du Québec.

Ce document a été réalisé grâce à la contribution financière du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques.

Ce document est disponible intégralement en format électronique (PDF) sur le site Web de l'Institut national de santé publique du Québec au : <http://www.inspq.qc.ca>.

Les reproductions à des fins d'étude privée ou de recherche sont autorisées en vertu de l'article 29 de la Loi sur le droit d'auteur. Toute autre utilisation doit faire l'objet d'une autorisation du gouvernement du Québec qui détient les droits exclusifs de propriété intellectuelle sur ce document. Cette autorisation peut être obtenue en formulant une demande au guichet central du Service de la gestion des droits d'auteur des Publications du Québec à l'aide d'un formulaire en ligne accessible à l'adresse suivante : <http://www.droitauteur.gouv.qc.ca/autorisation.php>, ou en écrivant un courriel à : droit.auteur@cspq.gouv.qc.ca.

Les données contenues dans le document peuvent être citées, à condition d'en mentionner la source.

DEPOT LEGAL – 1^{er} TRIMESTRE 2015
BIBLIOTHEQUE ET ARCHIVES NATIONALES DU QUEBEC
BIBLIOTHEQUE ET ARCHIVES CANADA
ISBN : 978-2-550-72591-6 (VERSION IMPRIMEE)
ISBN : 978-2-550-72592-3 (PDF)

©Gouvernement du Québec (2015)

Table des matières

Liste des tableaux.....	III
Liste des sigles et des acronymes.....	V
Résumé.....	1
1 Mise en contexte.....	15
2 Mandat général confié à l'INSPQ, objectifs spécifiques et public ciblé.....	17
2.1 Mandat général.....	17
2.2 Objectifs spécifiques.....	17
2.3 Public ciblé.....	17
3 Présentation du bien livrable.....	19
4 Approche méthodologique – hydrocarbures pétroliers et santé humaine.....	21
4.1 Stratégie générale de recherche documentaire.....	21
4.2 Littérature scientifique avec révision par les pairs.....	21
4.2.1 Termes de recherche.....	21
4.2.2 Plateformes de recherche et bases de données retenues.....	22
4.3 Littérature grise.....	23
4.4 Stratégies spécifiques de recherche documentaire.....	23
4.5 Autres stratégies de recherche documentaire.....	24
4.6 Sélection des documents recueillis.....	24
4.6.1 Critères généraux de sélection relatifs à la forme.....	24
4.6.2 Critères généraux de sélection relatifs à la pertinence.....	25
4.6.3 Critères spécifiques de sélection relatifs à la pertinence.....	25
5 Approche méthodologique – hydrocarbures gaziers et santé humaine.....	29
6 Enjeux relatifs à la santé de la population associés à l'exploration et à l'exploitation des hydrocarbures pétroliers.....	31
6.1 Impacts de la contamination de l'eau (souterraine et de surface) sur la santé de la population.....	31
6.1.1 Types d'événements pouvant mener à une exposition populationnelle.....	32
6.1.2 Types de contaminants.....	32
6.1.3 Types d'expositions.....	32
6.1.4 Populations exposées.....	33
6.1.5 Types d'atteintes sanitaires.....	33
6.1.6 Discussion.....	34
6.1.7 Conclusion.....	36
6.2 Impacts de la contamination des sols et des sédiments sur la santé de la population.....	37
6.2.1 Produits du pétrole.....	37
6.2.2 Radionucléides.....	40
6.2.3 Possibilités d'évaluation du risque considérant les données disponibles.....	40
6.2.4 Principaux constats et données manquantes à documenter.....	41
6.2.5 Proposition de pistes d'options de gestion des risques (mesures de prévention, d'atténuation, etc.).....	42
6.3 Impacts de la contamination de l'air ambiant sur la santé de la population.....	43
6.3.1 Polluants émis lors des activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures.....	43
6.3.2 Effets des polluants de l'air émis lors des activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures.....	44

6.3.3	Estimation des risques	44
6.3.4	Données manquantes à documenter.....	45
6.3.5	Conclusions.....	45
6.4	Effets des urgences associées à l'exploration et à l'exploitation des hydrocarbures pétroliers sur la santé de la population.....	46
6.4.1	Événements accidentels susceptibles de survenir	47
6.4.2	Identification des risques potentiels pour la santé de la population	49
6.4.3	Pistes de solution pour la gestion des risques de santé publique	49
6.4.4	Constats préliminaires sur les urgences de santé publique	51
6.4.5	Connaissances à acquérir.....	53
7	Enjeux relatifs à la santé des travailleurs	55
7.1	Introduction	55
7.2	État de situation	56
7.2.1	Exploitation des hydrocarbures en milieu marin.....	56
7.2.2	Exploitation des hydrocarbures en milieu terrestre	57
7.2.3	Extrapolation au contexte québécois	60
7.2.4	Proposition de pistes d'options de gestion des risques	61
8	Enjeux relatifs à la santé de la population associés à l'exploration et à l'exploitation des hydrocarbures gaziers.....	63
8.1	Introduction	63
8.2	Connaissances recueillies sur les enjeux de santé publique en lien avec les activités reliées au gaz de schiste.....	63
8.2.1	Risques technologiques.....	63
8.2.2	Risques reliés à la pollution de l'air.....	64
8.2.3	Risques reliés à la contamination de l'eau	65
8.2.4	Risques d'effets sur la qualité de vie	65
8.2.5	Perspectives de réflexion en matière de gestion des risque pour la santé	66
9	Conclusion	67
9.1	Enjeux relatifs à la santé de la population	67
9.1.1	Impacts de la contamination de l'eau (souterraine et de surface) sur la santé de la population.....	67
9.1.2	Impacts de la contamination des sols et des sédiments sur la santé de la population	68
9.1.3	Impacts de la contamination de l'air ambiant sur la santé de la population	69
9.1.4	Effets sur la santé de la population des urgences associées à l'exploration et à l'exploitation des hydrocarbures pétroliers	70
9.2	Enjeux relatifs à la santé des travailleurs.....	72
9.2.1	Constats préliminaires.....	72
9.2.2	Connaissances à acquérir.....	73
9.3	Pistes d'options de gestion des risques pour la santé de la population et des travailleurs en lien avec les activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures	74
	Références.....	75
Annexe 1	Tableaux section eau.....	87
Annexe 2	Connaissances à acquérir et activités à mettre en place afin de gérer les risques pour la santé et la sécurité des travailleurs, selon l'évolution de l'implantation de l'industrie pétrolière au Québec	109

Liste des tableaux

Tableau 1	Termes de recherche utilisés pour la stratégie générale de recherche documentaire	22
Tableau 2	Plateformes de recherche et bases de données retenues	22
Tableau 3	Moteurs de recherche et sites Internet consultés.....	23
Tableau 4	Principaux mots-clés et moteurs de recherche ou bases de données employés au cours des recherches thématiques spécifiques	24
Tableau 5	Critères formels de recherche documentaire	25
Tableau 6	Critères spécifiques d'inclusion et d'exclusion des publications repérées.....	26
Tableau 7	Exemples d'effets potentiels sur la santé des travailleurs, en lien avec les risques rapportés par les auteurs, lors de l'exploitation des hydrocarbures pétroliers.....	60

Liste des sigles et des acronymes

Al	Aluminium
BST	Bureau de la sécurité des transports du Canada
BTEX	Benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes
Cd	Cadmium
CIRC	Centre international de recherche sur le cancer
COV	Composés organiques volatils
¹³⁸ Cs	Césium 138
ÉES	Évaluation(s) environnementale(s) stratégique(s)
ÉES2	Évaluation environnementale stratégique sur la mise en valeur des hydrocarbures dans les bassins d'Anticosti, de Madeleine et de la baie des Chaleurs
HAP	Hydrocarbures aromatiques polycycliques
H ₂ S	Sulfure d'hydrogène
⁴⁰ K	Potassium 40
INSPQ	Institut national de santé publique du Québec
MDDELCC	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
MERN	Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles
Ni	Nickel
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
NO _x	Oxydes d'azote
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
²¹⁰ Pb	Plomb 210
PHMSA	Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration
PM _{2,5}	Particules fines dont le diamètre médian est < 2,5 µm
²²⁶ Ra	Radium 226
²²⁸ Ra	Radium 228

Enjeux de santé publique relatifs aux activités d'exploration
et d'exploitation des hydrocarbures gaziers et pétroliers

^{222}Rn	Radon 222
SO_x	Oxydes de soufre
^{232}Th	Thorium 232
TMS	Troubles musculo-squelettiques
^{238}U	Uranium 238
V	Vanadium
Zn	Zinc

Résumé

Le 30 mai 2014, le ministre de l'Énergie et des Ressources naturelles et responsable du Plan Nord, ainsi que le ministre du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques ont annoncé le plan d'action gouvernemental sur les hydrocarbures. Avec l'annonce de ce plan, le gouvernement du Québec a fait connaître son intention de réaliser, dès l'automne 2014, une évaluation environnementale stratégique (ÉES) globale et une autre propre au contexte de l'île d'Anticosti.

Les ÉES entreprises visent à dresser un bilan des connaissances et à déterminer celles à acquérir au regard des répercussions potentielles du développement de la filière des hydrocarbures gaziers et pétroliers sur l'environnement, la santé et la sécurité du public de même que sur le développement durable des collectivités. Spécifiquement, les enjeux environnementaux, sociaux, économiques et de sécurité publique relatifs à l'exploration et à l'exploitation des hydrocarbures, tant en milieu marin qu'en milieu terrestre, ainsi que les enjeux relatifs au transport de ces ressources sont considérés.

Dans le cadre des travaux réalisés dans le volet *Santé et sécurité des personnes* du chantier *Société* des ÉES, l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) s'est vu confier le mandat de documenter les enjeux et les effets potentiels sur la santé publique en lien avec l'exploration et l'exploitation des hydrocarbures gaziers et pétroliers. Plusieurs équipes scientifiques de cet organisme ont contribué à la réalisation de ce mandat dont les objectifs étaient les suivants :

1. Dresser un état des connaissances quant aux risques potentiels pour la santé humaine (population générale et travailleurs) reliés aux activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures gaziers et pétroliers, tant en milieu marin qu'en milieu terrestre.
2. Déterminer les connaissances supplémentaires à acquérir en lien avec la santé publique et les activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures.
3. Proposer des options de prévention et de gestion concernant les risques sanitaires que pourrait courir la population en lien avec l'exploration et l'exploitation des hydrocarbures sur le territoire québécois.

Ce rapport présente d'une part, en lien avec les hydrocarbures pétroliers, les principaux enjeux relatifs à la santé de la population et ceux relatifs à la santé des travailleurs. Cette analyse se base sur les connaissances scientifiques obtenues au moyen de l'examen de la littérature scientifique pertinente repérée à l'aide de diverses stratégies de recherche documentaire. D'autre part, afin de tenir compte des enjeux de santé publique relatifs à l'exploitation des hydrocarbures gaziers, les principaux constats issus de la publication de l'INSPQ intitulée *État des connaissances sur la relation entre les activités liées au gaz de schiste et la santé publique – Mise à jour* (Brisson et al., 2013) ont été évoqués. L'état des connaissances produit a permis de déterminer différentes connaissances à acquérir afin de soutenir la prise de décision. Aussi, dans une perspective de prévention et de gestion des risques pour la santé publique, des pistes de réflexion sont proposées.

Enjeux relatifs à la santé de la population

Les constats préliminaires établis à partir de l'analyse documentaire et les besoins relatifs aux connaissances à acquérir sont présentés sous l'angle de la contamination de l'eau souterraine et de surface (1), des sols et des sédiments (2), de l'air ambiant (3) de même que sous l'angle des urgences de santé publique (4).

IMPACTS DE LA CONTAMINATION DE L'EAU (SOUTERRAINE ET DE SURFACE) SUR LA SANTÉ DE LA POPULATION

1. Constats préliminaires

Les études retenues ont essentiellement décrit des expositions populationnelles au pétrole brut ainsi qu'à des produits pétroliers à la suite d'événements accidentels qui se sont produits particulièrement en milieu marin. La nature des contaminants qui peuvent représenter une menace pour la santé humaine (hydrocarbures légers et lourds, métaux et radionucléides) est variable et propre au contexte de chacun des événements accidentels répertoriés. Les événements accidentels susceptibles d'engendrer la contamination de l'eau côtière et continentale, par du pétrole brut et par des produits pétroliers, sont, par exemple, le naufrage ou l'échouement de navires, les activités de chargement ou de déchargement de navires à quai, la rupture ou le bris d'oléoducs, le déraillement de trains de même que les déversements et les rejets opérationnels suivant les opérations de forage.

Par ailleurs, des opérations régulières associées à l'exploration et à l'exploitation des hydrocarbures, dont le forage de puits et l'extraction du pétrole, peuvent aussi être associées à des expositions potentielles de la population à des contaminants. Plus spécifiquement avec la technologie de fracturation, les fluides de forage (boues) de même que les fluides de stimulation des puits et les fluides de résurgence (saumures) peuvent constituer un risque d'exposition populationnelle s'ils entrent en contact avec les eaux destinées à la consommation humaine, notamment par l'intermédiaire du puits d'extraction lui-même ou par l'entremise de voies de migration présentes dans les substrats géologiques concernés. Ce constat est cependant extrapolé à partir d'informations concernant l'extraction du gaz de schiste, car de telles informations ne sont actuellement pas disponibles ou publiées dans le cas de l'extraction du pétrole de schiste (ou l'équivalent) par l'entremise de la fracturation ou de la stimulation hydraulique.

Différentes voies d'exposition aux hydrocarbures et aux produits pétroliers ont été recensées dans les études répertoriées, notamment l'inhalation et le contact cutané. Les études consultées ont permis de répertorier des manifestations cliniques s'étant produites à la suite d'une exposition directe au pétrole ou à l'eau contaminée par les hydrocarbures. Les symptômes notés comprennent surtout des céphalées; des vertiges; des nausées; des vomissements; une irritation de la peau, des muqueuses (principalement du nez et de la gorge) et des yeux ainsi que des problèmes respiratoires (principalement une gêne respiratoire et de la toux). Les manifestations cliniques répertoriées sont qualifiées d'aiguës, car elles sont observées dans les heures ou les jours suivant l'exposition et elles sont généralement réversibles. La gravité et la durée des atteintes à la santé semblent être reliées au type et à l'ampleur de l'exposition. Ainsi, des manifestations cliniques plus importantes ont été notées chez les bénévoles et les travailleurs qui ont participé au nettoyage du littoral à la suite d'un déversement de pétrole en mer (naufrage d'un pétrolier) comparativement aux manifestations de moindre importance observées chez les personnes vivant à proximité des lieux contaminés et qui n'ont pas participé à de telles activités de remédiation.

Il importe de souligner que, parmi les études consultées, aucune ne faisait état d'un suivi à long terme auprès de personnes exposées au pétrole brut. Par conséquent, il n'est pas possible de décrire les possibles effets chroniques ou subchroniques sur la santé en lien avec une exposition au pétrole brut. Il importe toutefois de préciser que quelques études réalisées avec des marqueurs biologiques, chez des personnes exposées au pétrole brut, ont révélé la présence d'anomalies enzymatiques et cellulaires ou de mutations chromosomiques, ce qui témoigne de potentielles atteintes à long terme. Ces constats ne peuvent toutefois pas être extrapolés, car ils n'ont été établis qu'à partir d'une seule population située près d'un naufrage particulier.

2. Connaissances à acquérir

- Le principal aspect à documenter concerne les potentialités d'exposition de la population au pétrole brut par l'entremise de l'eau potable de source souterraine. En effet, la littérature colligée est muette quant à la présence de traces de pétrole brut dans les nappes d'eau souterraine et quant aux effets de ce pétrole sur la santé.
- Par ailleurs, l'exposition de la population aux fluides utilisés ou issus de l'application de techniques de stimulation ou de fracturation hydraulique n'est pas non plus précisée dans la littérature dans le contexte de l'exploitation pétrolière. Il en est de même pour ce qui est des effets sanitaires pouvant être observés chez les populations exposées à l'eau souterraine qui serait contaminée par ces fluides issus des secteurs assujettis à l'exploitation pétrolière, au moyen des techniques de stimulation ou de fracturation hydraulique.
- Les effets sur la santé découlant de l'exposition aux produits dispersants employés lors des travaux de nettoyage suivant les déversements en milieu marin ont été sommairement décrits dans le présent document sur la base d'une seule revue de littérature. Une revue plus exhaustive des écrits portant sur les risques sanitaires associés à l'exposition à de tels produits pourrait être réalisée ultérieurement.
- Finalement, les effets sanitaires découlant de l'ingestion de produits de la pêche (et plus particulièrement les organismes marins benthiques) contaminés par des produits pétroliers n'ont pas été documentés dans la présente étude, cet aspect n'étant pas inclus dans le mandat initial; cet enjeu pourrait faire l'objet d'une revue de littérature.

IMPACTS DE LA CONTAMINATION DES SOLS ET DES SÉDIMENTS SUR LA SANTÉ DE LA POPULATION

1. Constats préliminaires

Les études retenues montrent que la contamination des sols peut se produire lors des opérations régulières d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures (ex. : disposition inadéquate des déchets de forage et des eaux usées; dépôt de contaminants émis par le procédé de torchage). Toutefois, la contamination des sols est principalement causée par des déversements accidentels, majeurs ou mineurs, ou encore par des activités industrielles suivies d'un abandon des installations.

Divers cas de figure sont à considérer en ce qui concerne l'exposition de la population au sol contaminé par des hydrocarbures pétroliers. Les poussières et les particules de sols contaminées, portées par le vent hors des sites contaminés proprement dits, peuvent représenter une source d'exposition pour les populations avoisinantes, que ce soit par inhalation des particules emportées, par contact cutané avec celles-ci ou encore par ingestion de ces dernières, en particulier chez les jeunes enfants. La migration souterraine des contaminants du pétrole pourrait contribuer à l'exposition de la population à ces contaminants. Par exemple, des substances volatiles provenant du pétrole (par exemple les BTEX, regroupement de composés organiques volatils – COV – comprenant le benzène, le toluène, l'éthylbenzène et les xylènes), ayant migré sous les zones habitées, pourraient s'infiltrer dans les habitations et être inhalées par leurs occupants. Ou encore, cette migration vers les sites habités, où des activités potagères ont lieu, pourrait entraîner une accumulation des contaminants dans les végétaux qui seront ensuite consommés par les habitants.

En milieu marin, les sédiments présents au pourtour des sites de forage peuvent être contaminés par les mêmes produits que ceux employés lors de forages en milieu terrestre, que ce soit en raison des fuites liées au puits de forage lui-même ou encore en raison du rejet en mer, par les plateformes pétrolières, des boues utilisées comme lubrifiant lors des activités de forage. Dans ce cas, les boues rejetées peuvent se disperser et contaminer les sédiments marins sur des aires vraisemblablement

plus grandes que celles se limitant à la zone immédiate d'influence des sites de forage. La contamination de la chaîne alimentaire (telle la faune présente dans les fonds marins ou dans les milieux aquatiques de surface se trouvant dans les régions où d'intenses activités pétrolières en milieu terrestre ont cours) pourrait aussi représenter une source d'exposition des populations aux contaminants du pétrole. Ceci dans la mesure, bien entendu, où ces organismes marins constituent une source d'alimentation humaine.

Au regard des impacts sur la santé associés à la contamination des sols, il importe de souligner que les données des études consultées ne permettent pas de distinguer les impacts sanitaires découlant de l'exploration et de l'exploitation pétrolière de ceux découlant de la contamination des sols à la suite d'autres activités industrielles liées au pétrole (ex. : la transformation pétrochimique). Dans ce contexte, les impacts sur la santé correspondent à ceux liés de façon générale aux substances en cause dans ces activités (principalement les BTEX; les hydrocarbures aromatiques polycycliques – HAP – et certains métaux, en particulier le cadmium) et ne sont pas propres aux types d'activités ou d'événements (ici, l'exploration et l'exploitation) ayant mené à la contamination des sols. Il faut aussi préciser que l'activité d'extraction du pétrole, particulièrement en milieu terrestre, peut entraîner une augmentation de la concentration de radionucléides dans les sols de surface de la région concernée par les forages. De plus, la littérature rapporte une augmentation des émissions de radon (^{222}Rn) dans l'air situé à proximité des sites de forage.

2. Connaissances à acquérir

La production d'évaluations du risque rigoureuses requiert une caractérisation des concentrations de *bruit de fond* des contaminants pertinents dans les sols et les sédiments des environnements québécois visés par les activités d'exploration et d'exploitation de l'industrie.

Une évaluation exhaustive de l'impact sur la santé humaine suivant le développement de l'exploration et de l'exploitation pétrolière au Québec demanderait :

- de documenter et de caractériser les sources de pollution des sols et des sédiments des environnements (locaux ou régionaux) visés par les activités, en accord avec les scénarios de développement des activités d'exploration et de production pétrolière envisagées pour le Québec.
- d'obtenir une liste exhaustive (complète) des produits chimiques, et leurs quantités respectives, dont on envisage l'utilisation durant les activités, menées en territoire québécois, qui sont reliées à l'exploration et à l'exploitation des hydrocarbures gaziers et pétroliers.

Par ailleurs, l'évaluation quantitative des risques requiert d'utiliser des données décrivant les concentrations environnementales dans les milieux où se trouvent les populations; par conséquent, il sera nécessaire d'obtenir de telles données applicables au contexte québécois. Ainsi, des données mesurées sur le terrain (ex. : Anticosti, Gaspésie), ou modélisées, pourraient être utiles.

IMPACTS DE LA CONTAMINATION DE L'AIR AMBIANT SUR LA SANTÉ DE LA POPULATION

1. Constats préliminaires

Les principaux polluants émis par les activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures sont les particules fines ($\text{PM}_{2,5}$, dont le diamètre médian est $< 2,5 \mu\text{m}$), les oxydes d'azote (NO_x) et de soufre (SO_x) et les COV comme le benzène, le toluène, les xylènes, l'éthylbenzène et des aldéhydes.

La combustion de carburant lors de l'utilisation d'équipements (c'est-à-dire pompes et compresseurs) employés lors des forages, et le transport par pipeline du gaz et du pétrole contribuent aux émissions de NO_x , de $\text{PM}_{2,5}$ et de COV. Quant à la circulation des camions et des

bateaux, elle est associée à des émissions de NO_x, de SO_x, de PM_{2,5} et de COV. Les véhicules routiers génèrent de leur côté des poussières de route lorsque les routes ne sont pas pavées. Le brûlage de gaz par les torchères contribue pour sa part aux émissions de COV et de NO_x.

Les émissions varient selon le type d'extraction (pétrole ou gaz, extraction conventionnelle ou non), mais très peu d'informations existent à cet effet. L'extraction non conventionnelle émettrait davantage de contaminants pour la production de la même quantité d'hydrocarbures, étant donné, notamment, l'utilisation et le rejet de plus grands volumes d'eau et le forage d'un plus grand nombre de puits.

Les émissions issues des activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures peuvent donc contribuer à l'augmentation des concentrations des polluants dans l'air ambiant (soit les NO_x, les SO_x, les PM_{2,5} et les COV), notamment à proximité des sites d'exploration et d'exploitation, et contribuer à l'augmentation de l'exposition des populations locales. Cependant, il existe très peu d'informations sur les expositions des populations en lien avec l'exploration et l'exploitation des hydrocarbures. En général, les expositions varieront selon la distance entre les populations et les sites, l'intensité des activités et les autres conditions particulières (ex. : topographie). Une étude récente rapportait, à proximité de sites d'exploration et d'exploitation non conventionnels d'hydrocarbures, que les niveaux de benzène, de formaldéhyde et de sulfure d'hydrogène excédaient souvent des valeurs de référence.

Les polluants produits lors des activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures sont associés à des effets cardiorespiratoires et à des cancers. Très peu d'études portant sur des personnes qui résident à proximité des sites d'exploration et d'exploitation d'hydrocarbures ont été publiées et celles menées présentent des limites. Récemment, deux études ont été réalisées chez des populations résidant près de ces sites. La première suggère une association entre des malformations congénitales cardiaques et la densité/proximité de puits, et la seconde ne présente pas de variations des taux de cancer chez les enfants avant et après la fracturation hydraulique.

En conclusion, il existe peu d'informations sur les niveaux d'exposition des populations aux NO_x, aux SO_x, aux PM_{2,5}, et aux COV avant, pendant et après les activités de forage. Des études traitant des effets sur la santé associés aux expositions aux polluants de l'air situés à proximité des sites d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures sont aussi pratiquement inexistantes.

Malgré le peu d'études, les risques pour la santé associés à l'exposition aux polluants de l'air émis lors de l'exploration et de l'exploitation des hydrocarbures au Québec peuvent être évalués à partir d'études épidémiologiques publiées concernant les effets des polluants de l'air sur la santé, qui sont menées surtout en milieu urbain. Il faut cependant obtenir des estimations des expositions lors de périodes d'exploration et d'exploitation sur le territoire québécois pour être en mesure de réaliser une telle évaluation des risques.

2. Connaissances à acquérir

Les données nécessaires à l'estimation de l'exposition des populations et des risques pour la santé associés à l'exploration et à l'exploitation des hydrocarbures au Québec ne sont pas disponibles.

Étant donné la présence simultanée de plusieurs composés lors des activités d'exploitation et d'exploration des hydrocarbures, les estimations de risques pour la santé nécessiteront que des approches soient élaborées afin que l'effet cumulé de l'ensemble des composés émis dans l'air soit considéré.

EFFETS SUR LA SANTÉ DE LA POPULATION DES URGENCES ASSOCIÉES À L'EXPLORATION ET À L'EXPLOITATION DES HYDROCARBURES PÉTROLIERS

1. Constats préliminaires

L'analyse des différents écrits sélectionnés pour documenter les accidents qui peuvent se produire ainsi que leurs effets potentiels sur la santé de la population a permis de mettre en évidence les populations les plus susceptibles d'être exposées, les événements accidentels possibles et leurs principales caractéristiques de même que les effets aigus potentiels ou réels de ces accidents sur la santé de la population concernée.

Ainsi, dans les documents consultés, on mentionne qu'en cas de déversements accidentels de même que de fuites d'hydrocarbures pétroliers et de substances chimiques, les travailleurs, la population située à proximité et les premiers répondants sont les personnes les plus à risque de subir les importantes répercussions potentielles d'une exposition dont les effets sur la santé sont peu documentés.

De plus, divers événements accidentels peuvent avoir lieu lors des activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures pétroliers : explosions, incendies, fuites et déversements. Ces événements entraînent la contamination de l'environnement (eau, air ambiant, sols et sédiments) par du pétrole brut, mais aussi par d'autres produits chimiques (ex. : ceux utilisés et rejetés lors de la fracturation hydraulique, émis lors d'un incendie, etc.).

Dans les sites fixes, la plupart des déversements répertoriés se produisent dans des installations portuaires. D'autres, généralement de moindre importance, surviennent lors des activités de triage dans les installations ferroviaires.

Des déversements majeurs ont lieu sur les plateformes extracôtières où les risques d'incendies et d'explosions de même que les bris de structures ne sont pas négligeables (tant du point de vue de leur fréquence que de l'importance de leurs répercussions) et où la gestion de la sécurité est complexifiée par la présence d'un grand nombre de sous-traitants spécialisés. Des déversements importants peuvent aussi impliquer les pétroliers, les vraquiers et les barges lors d'échouements et de collisions ainsi que les trains lors de déraillements.

Par ailleurs, quels que soient les modes de transport employés (routier, ferroviaire, maritime et pipeline), les accidents reliés aux matières dangereuses, incluant le pétrole, surviennent deux fois plus souvent lors du chargement et du déchargement aux installations de transport que pendant le transport lui-même.

Enfin, parmi les facteurs contributifs déterminés lors d'enquêtes sur des accidents, on trouve fréquemment une culture de la sécurité déficiente dans l'entreprise, une gestion des risques inefficace, une formation inadéquate des travailleurs, un mauvais entretien des équipements et une surveillance inefficace réalisée par les organismes responsables des diverses réglementations.

Du point de vue des effets aigus de ces accidents sur la santé de la population, il appert qu'en plus des décès lors des incendies et des explosions impliquant des hydrocarbures, la population située à proximité se verrait exposée à des émanations de produits toxiques provenant non seulement du pétrole lui-même – hydrocarbures pétroliers, benzène, toluène, éthylbenzène, xylènes et sulfure d'hydrogène – mais aussi des dispersants utilisés et des contaminants résultant des incendies (HAP, dioxines, furannes). Peu d'études ont été réalisées concernant les effets aigus de ces contaminants

sur la population, car relativement peu de déversements se sont produits à proximité de zones densément peuplées.

Les trois voies possibles d'exposition aux produits toxiques lors d'un accident (incendie, explosion, fuite et déversement) sont l'inhalation, l'ingestion et l'absorption cutanée. Les effets dépendent du type de produit déversé et de la durée de l'exposition. Les symptômes possibles, étudiés surtout chez des populations riveraines, comprennent notamment des céphalées; de l'irritation aux yeux, à la gorge, à la peau et aux voies respiratoires; de l'irritabilité; de la fièvre; de la fatigue; des nausées et des vomissements. On indique que la plupart de ces symptômes disparaissent en moins d'une semaine chez les personnes ne participant pas aux travaux de nettoyage. Récemment, des anomalies hématologiques, hépatiques, rénales, respiratoires de même que de certaines fonctions neurologiques ont aussi été notées au sein des populations exposées et chez les travailleurs. Les effets psychosociaux demeurent prépondérants et perdurent longtemps chez les personnes exposées et au sein des communautés touchées.

Finalement, bien que certaines fractions de produits pétroliers soient reconnues comme étant cancérigènes, la durée d'exposition étant généralement courte, la probabilité de tels effets demeure faible dans le contexte d'accidents et d'expositions aiguës.

2. Connaissances à acquérir

L'évaluation et la gestion des impacts sanitaires potentiels liés à l'exploration et à l'exploitation pétrolière doivent nécessairement prendre en compte l'exposition possible de la population aux matières dangereuses qui sont entreposées et transportées dans le cadre des opérations de l'industrie pétrolière. À cet égard, plusieurs aspects concernant les risques pour la santé lors de situations d'urgence en lien avec l'exploration et l'exploitation pétrolière demeurent à documenter par l'entreprise ou par les autorités gouvernementales responsables, entre autres :

1. En ce qui a trait à la présence et à la nature des matières dangereuses sur un territoire donné de même qu'à l'exposition de la population aux matières dangereuses manutentionnées, entreposées et transportées sur ce territoire :
 - obtenir une liste exhaustive des matières dangereuses et des quantités qui seront manipulées (tout particulièrement lors des chargements et des déchargements dans les sites de transbordement), entreposées et transportées;
 - connaître le volume et la durée des activités;
 - localiser les principales infrastructures d'entreposage (sites fixes) et de transport (routier, ferroviaire, portuaire, pipeline);
 - caractériser les populations humaines susceptibles d'être exposées et la distance entre ces populations et les sites d'exploration et de production de pétrole et d'entreposage de matières dangereuses de même que les infrastructures/les routes de transport.
 - recueillir de l'information provenant des transporteurs sur les trajets utilisés;
 - se procurer les plans de mesures d'urgence élaborés et être au fait de la réelle capacité des petites municipalités de les mettre en œuvre.

2. Pour ce qui est des événements accidentels et de leurs impacts potentiels sur la santé humaine :
 - documenter la probabilité de survenue d'événements accidentels;
 - rassembler les données descriptives ou les rapports d'enquête sur les événements accidentels survenus antérieurement (fréquence, types, circonstances d'exposition, principaux effets sanitaires à appréhender, etc.);
 - obtenir des données sur les principaux scénarios d'accidents (modélisations, etc.);
 - documenter les principaux impacts potentiels des événements accidentels, impliquant des matières dangereuses, sur l'environnement et la santé humaine, notamment par une recension des écrits.
3. En ce qui concerne la gestion des risques liés aux événements accidentels :
 - effectuer une analyse des lois, des règlements et des normes encadrant présentement les urgences et les sinistres;
 - réaliser une recension des écrits portant sur l'évaluation de la mise en application de différentes options de gestion des risques et sur leur capacité à les réduire;
 - faire une recension des écrits sur la communication et la perception des risques d'accidents et des risques pour la santé.

Enjeux relatifs à la santé des travailleurs

CONSTATS PRÉLIMINAIRES

Les écrits consultés mettent en lumière plusieurs facteurs de risque touchant la santé des travailleurs de l'industrie pétrolière, tant en milieu d'exploitation marin qu'en milieu d'exploitation terrestre.

Parmi les risques auxquels les travailleurs de cette industrie peuvent être exposés, il y a notamment des risques chimiques (ex. : COV, constituants chimiques des fluides et des boues de forage, silice cristalline, sulfure d'hydrogène, matières particulaires de diesel), physiques (ex. : bruit intense, vibrations, radiations, extrêmes de température), biologiques (ex. : légionellose), ergonomiques (ex. : manutention, postures de travail), psychosociaux (ex. : horaires de travail variables, travail de nuit, éloignement) ainsi que des risques pour la sécurité (ex. : accidents de véhicules, explosions, incendies, chutes de hauteur, blessures de contact, éclairage insuffisant, espaces confinés). Ces facteurs de risque ont été associés à divers effets sur la santé (même des atteintes irréversibles) dont la nature et la gravité sont tributaires de la source d'exposition et des conditions de travail.

En milieu marin, plus de 90 % des produits chimiques trouvés sur les plateformes de forage en haute mer sont utilisés sous forme de fluides de forage. Ces fluides, mélanges complexes et variables selon les conditions de forage, sont associés à diverses atteintes à la santé comme des irritations, des inflammations et des dermatites. De plus, certaines études consultées révèlent des effets chroniques sur la santé des travailleurs de l'industrie pétrolière maritime, notamment des excès de cas de cancer.

En milieu terrestre, le procédé d'extraction des hydrocarbures par fracturation hydraulique est relativement récent. Il n'y a donc que très peu de données sur la caractérisation des risques toxicologiques associés à ce procédé, et aucune étude épidémiologique n'a été publiée concernant les effets à long terme sur la santé des travailleurs de ce secteur. Néanmoins, d'après les résultats d'études réalisées par le National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), l'exposition à

la silice cristalline – employée comme agent de soutènement dans les fluides de fracturation – constitue un risque significativement important pour la santé des travailleurs, puisque les niveaux d'exposition observés lors de ces activités d'extraction sont souvent au-dessus des valeurs limites d'exposition réglementaires ou recommandées aux États-Unis. De plus, des études ont soulevé d'autres risques éventuels associés aux procédés de fracturation hydraulique, dont le risque d'exposition à différents constituants chimiques des fluides de fracturation et des fluides de résurgence.

Enfin, il convient de préciser que les travailleurs de l'industrie pétrolière en général font face à un taux élevé de mortalité. À cet égard, la littérature rapporte que, pour la période 2005 à 2009, le taux de mortalité chez les travailleurs de l'industrie pétrolière aux États-Unis était deux fois et demie supérieur à celui des travailleurs de l'industrie de la construction, et sept fois supérieur à celui des travailleurs de l'ensemble des secteurs industriels. Les accidents de véhicules lors du transport des hydrocarbures et le fait d'être heurté par des objets représentent les principales causes de décès. Paradoxalement, le taux de blessure ou de traumatisme dans l'industrie pétrolière est plus bas que celui de l'industrie de la construction, un constat qui pourrait être attribué à une sous-déclaration.

CONNAISSANCES À ACQUÉRIR

Comme l'approche en santé et sécurité du travail adoptée sur les plateformes en milieu marin est orientée principalement sur les risques pour la sécurité et les interventions en situation d'urgence, il existe peu de données publiées sur les risques potentiels affectant à long terme la santé des travailleurs du secteur de l'extraction pétrolière en milieu marin. Aussi, il est nécessaire :

- de dresser un inventaire exhaustif des produits utilisés dans les fluides de forage en contexte québécois et de mieux caractériser et surveiller l'exposition professionnelle à ces produits.

En ce qui a trait à l'exploitation pétrolière non conventionnelle en milieu terrestre, il est nécessaire :

- de caractériser l'exposition professionnelle lors de l'extraction des hydrocarbures par fracturation hydraulique horizontale;
- de documenter davantage les effets à long terme observés chez les travailleurs de ce secteur en adoptant une approche orientée sur la surveillance des risques pour la santé et la surveillance des maladies professionnelles qui en découlent.

Constats relatifs à la santé de la population et aux activités associées à l'exploration et à l'exploitation des hydrocarbures gaziers

Le portrait des principaux enjeux relatifs à la santé de la population générale (excluant donc les travailleurs de l'industrie gazière), en lien avec les hydrocarbures gaziers, a été illustré à partir du résumé de la plus récente publication de l'INSPQ sur le sujet intitulée *État des connaissances sur la relation entre les activités liées au gaz de schiste et la santé publique – Mise à jour* (Brisson et al., 2013). Les principaux constats établis dans cette publication sont rapportés dans le présent rapport à la demande des coordonnateurs du chantier Société des ÉES sur les hydrocarbures.

RISQUES TECHNOLOGIQUES

- Des explosions, des incendies, des fuites et des déversements de matières dangereuses sont les principaux types d'événements accidentels en lien avec les activités d'exploitation et d'exploration du gaz de schiste, qui sont susceptibles de menacer la santé de la population. De tels événements ont été rapportés aux États-Unis et au Canada.
- Des événements accidentels peuvent survenir tout au long du processus d'exploration et d'exploitation de cette ressource :
 - Sur le site d'exploitation (ex. : au cours du forage, de la complétion et de l'entretien des puits; de la fracturation hydraulique et de la collecte et du traitement du gaz naturel capté);
 - Lors du transport de matières dangereuses (ex. : vers les sites de forage, de traitement ou d'entreposage; transport par gazoduc);
 - Lors de l'entreposage du gaz naturel.
- La plupart des accidents survenus tout au long du processus d'exploration et d'exploitation du gaz sont associés à des erreurs humaines, à de la négligence, à des défaillances matérielles et à la complétion inadéquate des puits de forage. Des risques naturels (ex. : tornade, foudre, tempête, inondation, feu de forêt) peuvent causer ou aggraver des événements accidentels découlant des activités d'exploitation du gaz de schiste.
- Lors de déversements et de fuites de substances chimiques, les travailleurs, la population avoisinante (du site d'exploitation ou des réseaux de transport) et les premiers répondants sont les sujets les plus à risque de subir de graves conséquences. Les répercussions sur la santé des personnes varient selon le contexte et la gravité de l'événement accidentel en cause.
- Le transport de matières dangereuses comporte des risques particuliers aux différentes phases du transport (chargement, transport proprement dit et déchargement).

Les documents recensés permettent de soulever aussi des constats pour la gestion de ces risques :

- Un encadrement de l'industrie et un resserrement de la législation paraissent des mesures efficaces pour réduire la fréquence des événements environnementaux.
- Les mesures d'urgence et la surveillance demeurent des aspects de la gestion des risques à bien considérer; un des défis étant de favoriser la collaboration entre l'industrie gazière et les principaux organismes publics concernés.

Par ailleurs, les constats issus des écrits consultés permettent de remarquer que les connaissances sur la nature, les quantités et les procédures de manipulation et de transport des substances chimiques utilisées par l'industrie gazière demeurent encore incomplètes. Ce manque de connaissances fait en sorte qu'il n'est pas encore possible d'évaluer le niveau potentiel d'exposition à ces substances, tant pour les travailleurs que pour la population environnante, et de faire l'évaluation des risques.

RISQUES RELIÉS À LA POLLUTION DE L'AIR

L'exposition aux polluants de l'air est associée à plusieurs effets sur la santé, notamment à des effets cardiorespiratoires. La documentation consultée permet de noter les éléments suivants :

- Diverses modélisations et mesures effectuées depuis 2010, à proximité de sites où se déroulent des activités reliées au gaz de schiste, permettent de prévoir des augmentations locales des concentrations de certains polluants de l'air et, en particulier, les augmentations des particules fines de l'ozone et des gaz précurseurs à la formation de l'ozone (c'est-à-dire, les COV).
- Très peu d'études ont porté sur les risques pour la santé associés à l'exposition aux polluants de l'air émis lors des activités d'exploration et d'exploitation du gaz de schiste. Quelques évaluations estiment que les risques sont plus importants pour les individus habitant à proximité de puits (ex. : < 1 km) ou dans les comtés américains où les activités sont le plus concentrées.

Dans une perspective de gestion des risques, la littérature scientifique colligée et les règles de l'art suggèrent des approches d'estimation de risques pour la santé, notamment quant à l'effet cumulé des composés émis dans l'air et quant aux mesures de polluants de l'air effectuées préalablement à toute activité d'exploration. De plus, les principes de gestion des risques appliqués en santé publique (Ricard, 2003) amènent à penser que le risque serait mieux géré en tenant compte de distances séparatrices entre les sites d'exploration et d'exploitation du gaz de schiste et les zones habitées.

Finalement, les constats issus de la documentation consultée montrent que la prise en compte des effets indirects sur la santé associés aux gaz à effet de serre émis lors des activités reliées à l'exploration et à l'exploitation du gaz de schiste est requise pour documenter les risques de façon cohérente selon les modalités préconisées en santé publique.

RISQUES RELIÉS À LA CONTAMINATION DE L'EAU

La documentation consultée montre que les possibilités de contamination des eaux souterraines sont réelles. Notamment :

- Des contaminations sont survenues à la suite d'un accident, par exemple lors d'une défaillance technique au moment de la fracturation entraînant le rejet dans l'environnement des boues et des produits de la fracturation; lors d'une fuite de gaz due à une défaillance des infrastructures des voies d'extraction et pendant les opérations régulières d'extraction des gaz de schiste.
- Il a été démontré que des problèmes d'étanchéité des coffrages des puits d'extraction étaient à l'origine de cas de contamination survenus dans des conditions normales de fonctionnement.
- Une hypothèse controversée suggère la migration accélérée des contaminants contenus dans la roche-mère vers la surface à travers des failles ou des fissures causées ou accentuées par la fracturation hydraulique. Toutefois, cette hypothèse reste à confirmer ou à infirmer par de nouvelles recherches. Si elle était confirmée, le risque de contamination des nappes phréatiques persisterait même si des solutions techniques définitives étaient apportées aux problèmes d'étanchéité.

Enfin, l'exercice de recension de l'INSPQ (aussi bien celui de 2010 que celui de 2013) montre qu'il reste plusieurs connaissances à acquérir (Brisson *et al.*, 2010, 2013).

RISQUES D'EFFETS SUR LA QUALITÉ DE VIE

Les activités reliées à l'exploration et à l'exploitation du gaz de schiste sont susceptibles d'avoir des impacts sur la qualité de vie et la santé sociale et psychologique, notamment sur les aspects suivants :

- L'augmentation de la circulation, le bruit, la luminosité intense et les vibrations causées par ces activités industrielles occasionnent des nuisances pour la population avoisinante, particulièrement chez les résidents vivant à proximité d'un site de forage ou d'une route empruntée par les travailleurs.
- Le phénomène *boomtown* (augmentation rapide de la population et arrivée de nouveaux membres dans une communauté ou une région) a été observé à maintes reprises dans les communautés états-uniennes exploitant le gaz de schiste. Lorsque ce phénomène est présent, il entraîne des effets socioéconomiques, culturels et psychologiques. Ces impacts varient selon le profil de la communauté d'accueil, les infrastructures et les services offerts, et le niveau de préparation des autorités.
- La pénurie de logements, la hausse du prix des biens et des services, et l'augmentation des tensions et des conflits ont été constatées dans plusieurs cas étudiés.
- Les nuisances et les effets sociaux ont causé, à leur tour, chez certaines personnes du stress, de l'anxiété, de l'angoisse, et ont suscité des sentiments de perte de confiance et de perte de contrôle.

Les résultats issus de la littérature amènent à réfléchir notamment au moment où il convient d'investiguer et de caractériser chaque population concernée. Selon les règles de l'art en évaluation des impacts, réaliser ces activités avant l'arrivée d'une industrie dans une région permet habituellement de prévenir certains de ces effets sociaux et psychologiques.

Pistes d'options de gestion des risques pour la santé de la population et des travailleurs en lien avec les activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures

La documentation consultée dans le cadre du présent mandat suggère que les activités régulières d'exploration ou d'exploitation des hydrocarbures et surtout les accidents peuvent présenter des risques potentiels pour la santé humaine. Dans ce contexte, il est important que les responsables, notamment les autorités gouvernementales et les entreprises, s'assurent de la mise en place de différentes options de gestion des risques afin de protéger la santé de la population. À cet effet, dans chacune des sections thématiques, certaines pistes plus spécifiques sont présentées afin de contribuer à la prévention et à la gestion des risques pour la santé de la population, incluant la santé des travailleurs. Le lecteur est invité à s'y référer pour une description plus détaillée.

Les pistes énoncées reposent, entre autres, sur les principes directeurs de la démarche de gestion des risques en santé publique (Ricard, 2003), à savoir : l'appropriation des pouvoirs par les individus et la collectivité, l'équité au sein des communautés, l'ouverture permettant la participation des parties intéressées et touchées, la primauté de la protection de la santé humaine, la prudence, la rigueur scientifique ainsi que la transparence à l'égard des parties intéressées et touchées. Selon l'évolution des connaissances, au fil du temps, ces options de gestion des risques pourraient être adaptées ou amenées à évoluer.

Enfin, parmi les diverses options de gestion des risques proposées dans les différents chapitres de ce rapport, certaines sont communes aux domaines de la santé environnementale et de la santé au travail. Elles peuvent donc se regrouper ainsi :

- Documenter et mesurer les paramètres présents avant la mise en œuvre de toute opération (par exemple : une caractérisation des concentrations de *bruit de fond* des contaminants pertinents).
- Documenter en profondeur les risques découlant des procédés, des méthodes de travail et des produits utilisés lors des activités d'extraction d'hydrocarbures et tenir compte des effets cumulés de ces risques.
- S'appuyer sur la législation en vigueur, et le cas échéant, mettre en place une nouvelle réglementation pour régir les activités reliées à cette industrie.
- S'appuyer sur les cadres de référence en matière de prévention et d'intervention en cas de déversements accidentels.
- Établir des mesures de prévention et de protection pour limiter les risques pour la santé de la population et des travailleurs lors des activités régulières et en cas d'accident.
- Favoriser l'établissement de collaborations, notamment par une approche et une gestion intégrées du territoire.
- Promouvoir la collaboration entre l'industrie et les milieux universitaires pour la recherche de solutions.
- Prévoir un système de surveillance des accidents et des atteintes à la santé (incluant des maladies professionnelles) afin d'en améliorer la prévention et le suivi.
- Suivre l'évolution des recherches scientifiques et des nouvelles connaissances disponibles, notamment en lien avec les enjeux de santé publique relatifs aux activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures gaziers et pétroliers.

1 Mise en contexte

Le 30 mai 2014, le ministre de l'Énergie et des Ressources naturelles et responsable du Plan Nord, ainsi que le ministre du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques ont annoncé le plan d'action gouvernemental sur les hydrocarbures (Gouvernement du Québec, 2014). Ce plan vise le développement de la filière des hydrocarbures gaziers et pétroliers sur le territoire québécois, si les conditions adéquates pour exploiter ces ressources sont réunies. Le développement de la filière énergétique québécoise relative aux hydrocarbures fossiles soulève par ailleurs des préoccupations – notamment quant aux impacts potentiels de projets reliés à la prospection et à l'exploitation de ces ressources, à leur transport et à leur exportation – sur l'environnement, la santé et la sécurité du public ainsi que sur le développement durable des collectivités.

Dans ce contexte, le gouvernement du Québec a entrepris de mener une évaluation environnementale stratégique (ÉES) globale portant sur les enjeux découlant de l'exploration et de l'exploitation des hydrocarbures au Québec, tant en milieu marin qu'en milieu terrestre, ainsi que sur les enjeux reliés au transport et aux infrastructures afférentes à ces activités. Une ÉES propre à la situation prévalant sur l'île d'Anticosti doit aussi être réalisée. Ces ÉES, qui devront tenir compte de l'ensemble des études et des consultations déjà réalisées, permettront de dresser un bilan des connaissances et de déterminer celles à acquérir. Pour ce faire, cinq chantiers (environnement, société, économie, transport et aspects techniques) composés d'experts gouvernementaux et indépendants ont été mis en place. Le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN) et le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) assurent la coordination de ces cinq chantiers en collaboration avec des experts indépendants, issus principalement du milieu universitaire, qui assurent un rôle d'expertise-conseil. À terme, l'ÉES globale et celle de l'île d'Anticosti devraient permettre de revoir l'encadrement et la gouvernance des activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures.

À l'automne 2014, l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) a été sollicité par le comité directeur des ÉES pour documenter les enjeux et les impacts relatifs à la santé publique. La participation de l'INSPQ aux ÉES s'inscrit dans le cadre du chantier *Société*, plus spécifiquement dans le volet *Santé et sécurité des personnes*.

L'INSPQ a pour mission de soutenir le ministre de la Santé et des Services sociaux et son ministère, les autorités régionales de santé publique ainsi que le réseau de la santé dans leurs activités et dans l'exercice de leurs responsabilités de santé publique. De façon globale, le rôle de la santé publique est de protéger la santé de la population et de veiller à la mise en place de conditions favorables au maintien et à l'amélioration de l'état de santé et de bien-être de la population en général.

2 Mandat général confié à l'INSPQ, objectifs spécifiques et public ciblé

2.1 Mandat général

Dans le cadre des travaux réalisés dans le volet *Santé et sécurité des personnes* du chantier *Société des ÉES*, l'INSPQ s'est vu confier le mandat de documenter les enjeux et les effets potentiels sur la santé publique associés à l'exploration et à l'exploitation des hydrocarbures gaziers et pétroliers. Précisément, le mandat a été accompli par des professionnels et des médecins conseils de la Direction de la santé environnementale et de la toxicologie et de la Direction des risques biologiques et de la santé au travail de l'INSPQ.

2.2 Objectifs spécifiques

Dans le cadre du présent mandat, les objectifs spécifiques sont les suivants :

1. Dresser un état des connaissances quant aux risques potentiels pour la santé humaine (population générale et travailleurs) associés aux activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures gaziers et pétroliers, tant en milieu marin qu'en milieu terrestre.
2. Déterminer les connaissances supplémentaires à acquérir en lien avec la santé publique et les activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures.
3. Proposer des options de prévention et de gestion concernant les risques sanitaires que pourrait courir la population en lien avec l'exploration et l'exploitation des hydrocarbures sur le territoire québécois.

2.3 Public ciblé

Le présent rapport s'adresse d'abord aux experts du MERN et du MDDELCC qui assurent la coordination du chantier *Société des ÉES* ainsi qu'aux experts indépendants qui collaborent avec eux dans le cadre de ce mandat.

Plus largement, le public ciblé par le présent rapport est l'ensemble des décideurs et des intervenants de santé publique du Québec, leurs partenaires du réseau de la santé et des services sociaux de même que leurs partenaires intersectoriels.

3 Présentation du bien livrable

Le contenu du présent rapport repose sur l'examen de données issues de la littérature scientifique ainsi que sur l'expertise des personnes-ressources de l'INSPQ participant à la réalisation du présent mandat.

La démarche réalisée consiste en une analyse générale, mais non détaillée, des impacts potentiels sur la santé humaine des activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures gaziers et pétroliers, tant en milieu marin qu'en milieu terrestre. Cette analyse se base sur les connaissances scientifiques obtenues au moyen de la sélection de la littérature scientifique pertinente, et, à cette étape de l'ÉES, les résultats visent à aiguiller le public ciblé sur la question des hydrocarbures.

Le rapport produit est divisé en deux chapitres distincts : le premier porte sur la santé de la population sous l'angle de la contamination de l'eau souterraine et de surface (1), des sols et des sédiments (2), de l'air ambiant (3) de même que sous l'angle des urgences de santé publique (4); alors que le second porte sur la santé des travailleurs. Ces deux chapitres traitent des impacts sanitaires potentiels associés à l'exploration et à l'exploitation des hydrocarbures gaziers et pétroliers, des connaissances supplémentaires à acquérir par l'entremise d'études plus approfondies ou complémentaires ainsi que des options de prévention et de gestion des risques de manière à protéger la santé humaine.

Cette analyse a été réalisée suivant le cadre de référence établi pour évaluer et gérer les risques en santé publique (Ricard, 2003). Cette démarche d'analyse scientifique permet, entre autres choses, de déterminer les sources de risques potentiels (à savoir un agent biologique, chimique, physique ou bien une situation donnée comme les activités d'une industrie par exemple) pour la santé humaine et les effets que ces risques peuvent provoquer. Cette démarche permet aussi de caractériser les populations humaines qui sont susceptibles d'être exposées aux risques déterminés (c'est-à-dire, population générale, travailleurs, etc.), y compris des groupes plus vulnérables.

Afin de tenir compte des enjeux relatifs à l'exploitation des hydrocarbures gaziers, comme le demandent les coordonnateurs du chantier *Société* de l'ÉES globale, le résumé de la publication de l'INSPQ intitulée *État des connaissances sur la relation entre les activités liées au gaz de schiste et la santé publique – Mise à jour* (Brisson et al., 2013) a été ajouté au rapport.

L'information est présentée en fonction des différents milieux visés (terrestre et marin), comme ils sont décrits dans le devis de travail du chantier *Société* (devis *Société # 1*). Étant donné que l'équipe de projet de l'INSPQ ne possède pas, à l'heure actuelle, d'informations précises permettant de caractériser les impacts sanitaires propres à un territoire donné (ex. : données de contamination des sols de sites de forage pour un secteur d'activités donné ou pour une zone géographique déterminée), l'analyse réalisée se veut donc globale. Lorsque cela s'avérait possible, l'analyse des répercussions potentielles sur la santé humaine a été effectuée en fonction du milieu (marin ou terrestre) et du type de procédé d'exploration et d'exploitation (conventionnel ou non conventionnel).

4 Approche méthodologique – hydrocarbures pétroliers et santé humaine

Ce chapitre du rapport apporte des précisions sur les stratégies de recherche documentaire considérées pour repérer des publications pertinentes portant sur les activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures pétroliers et la santé humaine.

4.1 Stratégie générale de recherche documentaire

D'abord, les résultats d'une recherche documentaire générale ont été examinés. Dans l'ensemble, cette démarche avait pour objectif de répondre à la question suivante : *Quels sont les impacts potentiels sur la santé humaine des activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures pétroliers en milieu marin et terrestre?*

La stratégie générale de recherche documentaire a permis de fournir un aperçu de la documentation (littérature scientifique avec révision par les pairs et littérature grise) ayant trait à la fois aux activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures pétroliers et à la santé humaine, et de constituer, à partir des résultats obtenus, une base documentaire commune pour tous les membres de l'équipe de projet de l'INSPQ.

4.2 Littérature scientifique avec révision par les pairs

4.2.1 TERMES DE RECHERCHE

Les termes de recherche ont été choisis de façon à documenter les principaux concepts de la question de recherche, à savoir : les hydrocarbures pétroliers, les activités reliées à l'exploration et à l'exploitation de ces ressources, le milieu marin et le milieu terrestre ainsi que la santé humaine (incluant des concepts relatifs à l'épidémiologie, à l'évaluation des risques ou à l'exposition ainsi qu'à la biosurveillance). Ces concepts ont été formulés dans un vocabulaire libre (ou langage naturel) et dans un vocabulaire contrôlé (descripteurs provenant d'un thésaurus). Les termes de recherche retenus sont indiqués dans le tableau 1.

Tableau 1 Termes de recherche utilisés pour la stratégie générale de recherche documentaire

	Hydrocarbures pétroliers et activités ou termes associés	Impacts ou études en lien avec la santé
Vocabulaire libre	<i>petroleum</i> OR (<i>oil</i> * ADJ2 ^A (<i>crude</i> OR <i>activit</i> * OR <i>boom</i> OR <i>development</i> OR <i>exploitation</i> OR <i>exploration</i> OR <i>operation</i> * OR <i>production</i> OR <i>field</i> * OR <i>reserve</i> * OR <i>reservoir</i> * OR <i>platform</i> * OR <i>rig</i> * OR <i>transport</i> * OR <i>industry</i> OR <i>industries</i> OR <i>inshore</i> OR <i>onshore</i> OR <i>inland</i> OR <i>offshore</i> OR <i>off-shore</i> OR <i>well</i> OR <i>wells</i>) OR <i>oilfield</i> * OR <i>oil-field</i> *	<i>health</i> * OR <i>epidemiolog</i> * OR <i>biomonitoring</i> OR (<i>risk</i> * OR <i>exposure</i> * OR <i>hazard</i> * OR <i>impact</i> *) ADJ2 ^A (<i>assessment</i> * OR <i>analys</i> * OR <i>characterization</i> * OR <i>determination</i> * OR <i>estimation</i> * OR <i>evaluation</i> * OR <i>investigation</i> *)
Vocabulaire contrôlé	<i>petroleum</i> /OR "oil and gas fields"/ OR <i>oil industry</i> / OR <i>offshore oil industry</i> / OR <i>oil field</i> / OR "oil and gas industry"/ OR <i>oilfields</i> / OR <i>crude oil</i> /	<i>exp health</i> / OR <i>public health</i> / OR <i>environmental health</i> / OR <i>risk assessment</i> / OR <i>health impact assessment</i> / OR <i>risk analysis</i> / OR <i>risk factors</i> / OR <i>risk</i> / OR <i>environmental exposure</i> / OR <i>epidemiology</i> /

^A Opérateurs de proximité (ADJn, Nn ou N/n selon la plateforme de recherche utilisée).

4.2.2 PLATEFORMES DE RECHERCHE ET BASES DE DONNÉES RETENUES

Le tableau 2 présente les plateformes de recherche utilisées et les bases de données retenues pour effectuer la recherche documentaire générale. Dans l'ensemble, 21 bases de données relatives à la littérature scientifique (consultées à partir des ressources électroniques auxquelles l'INSPQ est abonné) ont été consultées en raison de leur potentiel à repérer des thématiques en lien avec les hydrocarbures pétroliers et la santé humaine.

Tableau 2 Plateformes de recherche et bases de données retenues

	Ressources consultées
Plateforme de recherche OvidSP	(1) <i>Lippincott Williams & Wilkins (LWW) Total Access Collection</i> ; (2) <i>Embase</i> ; (3) <i>Ovid MEDLINE(R)</i> ; (4) <i>Ovid MEDLINE(R) In-Process(R)</i> ; (5) <i>Global Health</i>
Plateforme de recherche EBSCOhost	(1) <i>CINAHL</i> ; (2) <i>Health Policy Reference Center</i> ; (3) <i>MEDLINE Complete</i> ; (4) <i>Psychology and Behavioral Sciences Collection</i> ; (5) <i>PsycINFO</i> ; (6) <i>Public Affairs Index</i> ; (7) <i>SocINDEX with Full Text</i>
Plateforme de recherche ProQuest	(1) <i>Aquatic Science & Fisheries Abstracts (ASFA) 3: Aquatic Pollution & Environmental Quality</i> ; (2) <i>Environment Abstracts</i> ; (3) <i>Health & Safety Science Abstracts</i> ; (4) <i>Pollution Abstracts</i> ; (5) <i>Risk Abstracts</i> ; (6) <i>Sustainability Science Abstracts</i> ; (7) <i>Toxicology Abstracts</i> ; (8) <i>TOXLINE</i> ; (9) <i>Water Resources Abstracts</i>

Lors de l'usage de chacune des plateformes employées, les termes de recherche ont été combinés à l'aide d'opérateurs booléens (AND, OR) et d'opérateurs de proximité (ADJn, Nn ou N/n). Ces termes ont été recherchés dans des champs ciblés (titre, résumé, mots-clés). Lorsque cela était possible, les recherches ont été limitées aux publications de langues française et anglaise et à la période 2000-2014.

La recherche documentaire générale a été réalisée entre le 7 juillet et le 5 août 2014. En tout, 1 762 titres ont été répertoriés. À la suite de la suppression des doublons (342 titres exclus) et de la sélection d'écrits effectuée selon divers critères de forme et de pertinence, une base documentaire

commune pour tous les membres de l'équipe de projet de l'INSPQ a été constituée (415 titres retenus).

4.3 Littérature grise

La recherche documentaire s'est aussi étendue à différentes sources de la littérature grise (rapports gouvernementaux, universitaires, d'organismes scientifiques, etc.). Le tableau 3 en donne un aperçu.

Les requêtes suivantes ont été utilisées : *oil AND health*; *oil AND risk(s)*; *oil AND impact(s)*. Lorsque cela était possible, ces recherches ont été limitées aux titres des publications, et lorsque cela s'avérait nécessaire, les filtres de langue et de période (2000-2014) ont été appliqués.

Les requêtes ont été effectuées entre le 5 et le 19 août 2014 (repérage sommaire) ainsi qu'entre le 19 août et le 19 novembre 2014 (repérage complémentaire).

Tableau 3 Moteurs de recherche et sites Internet consultés

Ressources consultées	
Littérature grise	<ul style="list-style-type: none">• Moteurs de recherche <i>Google</i> : <i>Google.com</i>; <i>Google Scholar</i>• Sites Internet et travaux d'organismes gouvernementaux canadiens (ex. : organismes de santé du gouvernement du Québec et d'autres provinces, Santé Canada, Bureau de la sécurité des transports du Canada) et américains (ex. : Centers for Disease Control and Prevention, National Institutes of Health)• Sites Internet d'organismes gouvernementaux européens (ex. : Public Health England, Norwegian Ministry of Health and Care Services, Parlement européen)• Sites Internet d'organisations scientifiques indépendantes (Conseil des académies canadiennes; NRC Research Press)• Ouvrages de référence (ex. : <i>Encyclopédie de sécurité et de santé au travail</i>)

4.4 Stratégies spécifiques de recherche documentaire

Pour chacune des thématiques du présent rapport, des recherches documentaires ont été effectuées à partir de mots-clés déterminés en anglais, en français ou bien dans les deux langues. D'une part, les mots-clés spécifiques étaient utilisés (en tout ou en partie) pour trouver parmi les titres retenus lors de la recherche générale ($n = 415$) ceux qui pouvaient être reliés à chacune des thématiques (eau, air, etc.). D'autre part, les mots-clés spécifiques ont été combinés à un ou à plusieurs des termes employés lors de la recherche générale (tableau 1), en particulier les concepts *hydrocarbures pétroliers* et *santé humaine*, afin d'interroger des moteurs de recherche, des bases de données scientifiques ou bien les deux à la fois.

Le tableau 4 présente, pour chacune des thématiques, les principaux mots-clés spécifiques ainsi que les bases de données et les moteurs de recherche utilisés.

Tableau 4 Principaux mots-clés et moteurs de recherche ou bases de données employés au cours des recherches thématiques spécifiques¹

Thématique	Mots-clés	Base(s) de données/ moteur(s) de recherche
Eau	<i>Water</i> (eau), <i>groundwater</i> (eau souterraine), <i>surface water</i> (eau de surface), <i>coastal water</i> (eau côtière), <i>rain</i> (eau de pluie), <i>drinking water</i> (eau potable) Quelquefois utilisés en association avec les mots-clés suivants (selon diverses combinaisons) : <i>exposure</i> , <i>pollution</i> , <i>contamination</i> , <i>pollutant(s)</i> , <i>contaminant(s)</i> , etc.	<i>Google</i> , <i>Google Scholar</i>
Air	<i>Air</i> , <i>ambient air</i> , <i>atmospheric</i> , <i>flaring</i> Quelquefois utilisés en association avec les mots-clés suivants (selon diverses combinaisons) : <i>exposure</i> , <i>pollution</i> , <i>contamination</i> , <i>pollutant(s)</i> , <i>contaminant(s)</i> , etc.	<i>Google</i> , <i>Google Scholar</i>
Sols	<i>Soil(s)</i> , <i>sediment(s)</i> , <i>land*</i> Quelquefois utilisés en association avec les mots-clés suivants (selon diverses combinaisons) : <i>exposure</i> , <i>pollution</i> , <i>contamination</i> , <i>pollutant(s)</i> , <i>contaminant(s)</i> , etc.	<i>Google</i> , <i>Google Scholar</i>
Urgences de santé publique	<i>Emergency(ies)</i> , <i>disaster(s)</i> , <i>spill(s)</i> Quelquefois utilisés en association avec les mots-clés suivants (selon diverses combinaisons) : <i>public health</i> , <i>population(s)</i> , <i>human(s)</i> .	<i>Google</i> , <i>Google Scholar</i> , <i>Science Direct</i> , <i>Web of Science</i>
Santé au travail	<i>Occupational</i> , <i>work</i> , <i>worker(s)</i> , <i>workplace</i> Quelquefois utilisés en association avec les mots-clés suivants (selon diverses combinaisons) : <i>hazards</i> , <i>health</i> , <i>safety</i> , <i>oil industry</i> , <i>offshore</i> , <i>onshore</i> , <i>hydraulic fracturing</i> .	<i>Google</i> , <i>Google Scholar</i>

¹ Les mots-clés spécifiques ont été combinés à un ou à plusieurs des termes employés lors de la recherche générale (tableau 1), en particulier les concepts *hydrocarbures pétroliers* et santé humaine.

4.5 Autres stratégies de recherche documentaire

De façon complémentaire, la bibliographie de certaines des publications repérées a été examinée afin de sélectionner tout autre titre répondant aux critères de pertinence déterminés.

Par ailleurs, les coordonnateurs du chantier *Société des ÉES* ont suggéré des références. Parmi ces références, certaines ont été retenues au regard des critères de pertinence déterminés.

4.6 Sélection des documents recueillis

À la suite des démarches de recherche documentaire générale et spécifique, il était entendu que les documents repérés devaient être appréciés par les professionnels de l'INSPQ selon des critères déterminés de forme et de pertinence.

4.6.1 CRITÈRES GÉNÉRAUX DE SÉLECTION RELATIFS À LA FORME

Lors de la consultation des ressources documentaires, des critères relatifs à la forme des documents ont été considérés afin de sélectionner les écrits repérés au moment de la recherche documentaire générale et spécifique. Le tableau 5 présente ces critères formels.

Tableau 5 Critères formels de recherche documentaire

Critère	Description
Types d'études ou de documents	Recensions d'écrits publiées sous forme d'articles scientifiques dans des revues avec évaluation par les pairs, études épidémiologiques, rapports gouvernementaux, rapports de groupes d'experts. Précision : afin d'avoir la meilleure preuve scientifique, les éditoriaux, les essais ainsi que les documents d'opinions orientées (issus de groupes d'intérêts ou de lobbies) n'ont pas été pris en compte.
Titre, résumé, mots-clés	Montre(nt) un lien avec la question de recherche. Présence des mots-clés dans le titre et le résumé ou des mots-clés déterminés par les auteurs du document. Précision : Sont exclus, par exemple, les articles traitant des impacts sur la santé humaine associés aux activités reliées à la pétrochimie (raffinage du pétrole, etc.).
Langues de publication	Anglais et français.
Date de publication	Entre 2000 et 2014.

4.6.2 CRITÈRES GÉNÉRAUX DE SÉLECTION RELATIFS À LA PERTINENCE

Les publications repérées par l'entremise des diverses stratégies de recherche documentaire ont été soumises à une appréciation de leur pertinence. Les critères suivants ont été (en tout ou en partie) considérés :

- La publication doit examiner les répercussions sur la santé des activités découlant de l'exploration ou de l'exploitation des hydrocarbures pétroliers, incluant le transport de ces hydrocarbures; en l'absence de telles publications (traitant d'une population exposée aux risques potentiels associés aux activités énoncées), des études présentant des estimations d'émissions ou de concentrations de contaminants dans divers milieux (ex. : air) ont été retenues.
- La source d'exposition étudiée doit être reliée aux hydrocarbures pétroliers.
- La source d'exposition étudiée doit concerner l'exploitation ou l'exploration des hydrocarbures pétroliers ou encore des activités (ex. : forage, torchage), ou des événements accidentels qui peuvent en découler (ex. : déversements).
- Les écrits doivent traiter des effets ou des impacts potentiels, directs ou indirects, sur la santé (au sens large) de la population exposée (population générale et travailleurs).

4.6.3 CRITÈRES SPÉCIFIQUES DE SÉLECTION RELATIFS À LA PERTINENCE

Des critères additionnels ont été établis par chacune des équipes thématiques afin qu'une publication repérée soit retenue (critère d'inclusion) ou écartée (critère d'exclusion).

Le tableau 6 présente les critères spécifiques d'inclusion et d'exclusion qui ont été appliqués.

Tableau 6 Critères spécifiques d'inclusion et d'exclusion des publications repérées

Thématique	Critère(s) d'inclusion	Critère(s) d'exclusion
Eau	<ul style="list-style-type: none"> ■ Population(s) humaine(s) exposée(s), directement ou indirectement, au pétrole brut (ou à ses émanations volatiles ou à ses produits de dégradation) par le biais des vecteurs suivants : eau souterraine, eau de surface, eau de pluie, eau potable, eau récréative et eau côtière. ■ Voies multiples d'exposition considérées : <ul style="list-style-type: none"> ■ directe (contacts cutanés, contacts avec les muqueuses, et ingestion d'eau souillée ou contaminée par le pétrole); ■ indirecte (inhalation des émanations des composés volatils issus du pétrole brut, sur un site contaminé ou à une distance de propagation, variable selon les événements); ■ indifférenciées (toutes les voies confondues). 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Études de caractérisation environnementale et technique (ex. : étude hydrogéologique) n'ayant pas pris en compte des effets documentés sur les populations. ■ Étude portant sur les travailleurs de l'industrie pétrolière (forage terrestre ou en mer, raffinage du pétrole, pétrochimie, etc.). ■ Études traitant des effets sanitaires des dérivés du pétrole raffiné (essence, diesel, mazout, goudron, etc.) ou de composés spécifiques à l'état pur ou concentré (benzène, toluène et autres). ■ Accidents de travail (chez les travailleurs professionnels, occasionnels ou les bénévoles – lors du nettoyage du rivage), comprenant les blessures musculo-squelettiques et toute autre atteinte résultant du travail physique; de la manipulation d'objets, d'équipement, de machinerie; etc. ■ Effets psychologiques et sociaux.
Air	<ul style="list-style-type: none"> ■ Population(s) humaine(s) exposée(s) aux polluants de l'air associés aux activités d'exploration ou d'exploitation des hydrocarbures pétroliers. ■ Études présentant des estimations d'émissions ou de concentrations de contaminants dans l'air en lien avec les activités d'exploration ou d'exploitation des hydrocarbures pétroliers. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Effets directs ou indirects des gaz à effet de serre (CO₂, méthane) sur la santé humaine ou sur le réchauffement climatique. ■ Effets sur la santé reliés à une situation accidentelle (en lien avec des dispersants ou la combustion d'hydrocarbures pétroliers; conditions normales d'exploration et d'exploitation considérées seulement).
Sols	<ul style="list-style-type: none"> ■ Population(s) humaine(s) potentiellement exposée(s), directement ou indirectement, au pétrole brut par le biais des sols et des sédiments. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Effets sur la santé reliés à une situation accidentelle. ■ Études relatives aux industries de transformation du pétrole, incluant les sites industriels abandonnés.

Tableau 6 Critères spécifiques d'inclusion et d'exclusion des publications repérées (suite)

Thématique	Critère(s) d'inclusion	Critère(s) d'exclusion
Urgences de santé publique	<ul style="list-style-type: none"> ■ Situations accidentelles qui sont susceptibles de porter atteinte à la santé de la population (ex. : déversement, incendie, etc.) en lien avec les activités d'exploration ou d'exploitation des hydrocarbures pétroliers. Seuls les effets aigus sur la santé associés à des situations d'urgence ont été considérés (les effets chroniques sont notamment abordés dans d'autres sections). ■ Publications (documents d'orientation, rapports d'enquête, etc.) qui traitent de la gestion des risques pour la santé humaine en matière d'accidents impliquant des hydrocarbures pétroliers (ou plus largement, en matière d'accidents impliquant des matières dangereuses). 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Effets sur la santé des travailleurs. ■ Effets d'une exposition à long terme sur la santé. ■ Effets psychologiques et sociaux.
Santé au travail	<ul style="list-style-type: none"> ■ Population(s) de travailleurs de l'industrie pétrolière exposée(s) au pétrole brut lors de l'exploration ou de l'exploitation de cette source d'énergie : <ul style="list-style-type: none"> ■ Études portant sur les risques auxquels s'exposent les travailleurs de l'industrie pétrolière. ■ Accidents de travail chez les travailleurs, comprenant les troubles musculo-squelettiques et toute autre atteinte résultant du travail physique; de la manipulation d'objets, d'équipement, de machinerie; etc. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Aspects relatifs au transport, à l'entreposage. ■ Effets sur la santé reliés à une situation accidentelle (conditions normales d'exploration et d'exploitation considérées seulement).

5 Approche méthodologique – hydrocarbures gazeux et santé humaine

Comme convenu avec les coordonnateurs du chantier *Société des ÉES*, le portrait des principaux enjeux relatifs à la santé de la population générale (excluant donc les travailleurs de l'industrie gazière) en lien avec les hydrocarbures gazeux sera illustré à partir du résumé de la plus récente publication de l'INSPQ sur le sujet intitulée *État des connaissances sur la relation entre les activités liées au gaz de schiste et la santé publique – Mise à jour* (Brisson *et al.*, 2013).

Il faut mentionner que plusieurs équipes scientifiques de la Direction de la santé environnementale et de la toxicologie de l'INSPQ ont contribué à la réalisation de cette publication dont l'approche méthodologique s'inspire des approches de recension systématique des écrits. À l'aide de mots-clés spécifiques, plusieurs bases de données documentaires ont été consultées, et divers moteurs de recherche ont été interrogés. Par la suite, les titres et les documents obtenus ont été évalués au regard de leur pertinence et de leur qualité scientifique, puis les textes retenus ont fait l'objet d'une synthèse critique.

Pour une description détaillée des constats établis par l'INSPQ et de l'approche méthodologique qui a mené au recueil des connaissances sur le thème dont il est question au chapitre 8, soit les *Enjeux relatifs à la santé de la population associés à l'exploration et à l'exploitation des hydrocarbures gazeux*, il faut se reporter à la publication officielle (Brisson *et al.*, 2013).

6 Enjeux relatifs à la santé de la population associés à l'exploration et à l'exploitation des hydrocarbures pétroliers

6.1 Impacts de la contamination de l'eau (souterraine et de surface) sur la santé de la population

En règle générale, l'exposition populationnelle au pétrole brut (excluant donc toute forme d'exposition professionnelle) survient presque exclusivement à la suite d'événements accidentels tels que le naufrage/l'échouement de pétroliers en milieu côtier. Plusieurs de ces tragédies ont été l'occasion de réaliser des études épidémiologiques ou de faire des observations concernant les effets sur la santé des populations exposées; ces études sont résumées dans le tableau synthèse présenté à l'annexe 1.

Au Canada, de 2007 à 2013, cinq accidents majeurs (essentiellement des ruptures d'oléoducs en plus de la tragédie ferroviaire de Lac-Mégantic) ont donné lieu à des déversements totalisant près de 10 000 tonnes de pétrole brut (Eykelbosh, 2014). Toutefois, ces accidents n'ont pas fait l'objet d'études quant aux conséquences sur la santé humaine, notamment parce que, dans la plupart des cas, il n'y pas eu d'exposition populationnelle.

Globalement, on présume que l'exposition au pétrole brut se traduirait par un risque sanitaire plus faible que l'exposition au pétrole raffiné, car les diverses fractions individuelles potentiellement toxiques – par exemple, les COV tels que l'octane, le benzène et le toluène sont plus concentrées dans les produits issus du raffinage (Centers for Disease Control and Prevention [CDC], 2010). Il est notable de mentionner que le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) ne considère pas le pétrole brut non raffiné comme étant cancérigène (CIRC, 1989).

Une analyse de la pertinence des titres, des résumés puis du contenu des documents/articles scientifiques répertoriés à partir de la recherche générale a permis de retenir 47 articles scientifiques et quelques rapports jugés appropriés pour la présente section (voir le tableau synthèse en annexe). Parmi ces documents, six montrent des risques dont la compatibilité avec le contexte québécois a été jugée faible (documents II6A à II6C et II6F à II6H), parce qu'ils traitent essentiellement d'atteintes populationnelles dans le contexte de procédés d'exploitation inadéquats, principalement au Niger (n = 5) et en Équateur (n = 1). Ces documents ont toutefois été retenus afin de compléter l'information recherchée, soit celle ayant trait aux effets pouvant découler d'un contact direct avec le pétrole brut. Bien qu'ils soient reliés au contexte de la présente demande, deux autres documents ont été exclus de l'analyse détaillée, étant donné qu'ils traitent des risques chimiques et radiologiques engendrés par l'ingestion de poissons pêchés dans des eaux côtières. Initialement, le volet concernant l'ingestion d'aliments contaminés n'a pas été inclus dans le mandat. Des informations en lien avec les enjeux reliés à la protection des écosystèmes marins et des ressources halieutiques sont cependant présentées dans le document de GENIVAR (2013).

Il faut noter que la recherche générale n'a pas inclus les agents dispersants (solvants et surfactants) qui sont employés lors du nettoyage fait à la suite d'événements accidentels engendrant des déversements de produits pétroliers dans l'eau. Cet aspect est analysé par certains des auteurs des études retenues (D'Andrea et Reddy, 2013, 2014; Goldstein, Osofsky, et Lichtveld, 2011– I1B; I3C, I3D), alors qu'une évaluation des risques sanitaires reliés à l'usage de ces dispersants est présentée par Alo *et al.* (2011).

6.1.1 TYPES D'ÉVÉNEMENTS POUVANT MENER À UNE EXPOSITION POPULATIONNELLE

Les données issues de la littérature scientifique montrent que la plupart des expositions populationnelles documentées sont liées au naufrage/à l'échouement de pétroliers en milieu côtier, alors que les nappes de pétrole atteignent le littoral. Ainsi, les conditions d'expositions populationnelles seraient principalement associées à des contextes accidentels ayant engendré des déversements de produits pétroliers. À cet égard, les événements les plus fréquemment rapportés sont :

Exploitation des hydrocarbures en milieu marin :

- naufrage et échouement de pétroliers avec dispersion et déposition de pétrole sur le littoral (I2A à I2Y et I3A à I3E; n = 30);
- événements accidentels sur des plateformes de forage entraînant la dispersion et la déposition de pétrole sur le littoral (I1A à I1C et I3C à I3E; n = 6).

Exploitation des hydrocarbures en milieu terrestre :

- exploitation de champs pétroliers terrestres (par diverses techniques) dans des conditions dites normales avec dispersion de contaminants dans l'environnement :
 - défaillances techniques lors du forage, de l'extraction et de l'entreposage menant à une contamination des eaux de surface et des eaux souterraines (II6D, II6E, II6I, II6J; n = 4);
- rupture d'oléoducs (II5A et II5B; n = 2).

6.1.2 TYPES DE CONTAMINANTS

En marge de la description des événements qui ont occasionné une contamination du compartiment hydrique, certains auteurs ont effectué une caractérisation plus précise des produits pétroliers et d'autres composés ayant causé cette contamination :

- mélange d'hydrocarbures lourds ou peu volatils, c'est-à-dire, pétrole brut (I1A à I1C, I2A, I2B, I2D, I2E, I2G à I2R, I2W à I2Y, I3A à I3E, II5A et II5B, II6E à II6I; n = 34);
- hydrocarbures légers volatils, c'est-à-dire, BTEX, COV, HAP, pétrole # 2 et #6 (I2C, I2F, I2K, I2O, I2S à I2V, I3A, I3E, II6C, II6F à II6J; n = 16).
- composés inorganiques :
 - métaux, c'est-à-dire cadmium – Cd et zinc – Zn (I2C; I2D, I2V, I3A, II6B, II6G, II6I; n = 7);
 - radionucléides, c'est-à-dire ^{138}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{232}Th , ^{238}U , ^{210}Pb et rayonnement gamma (II6A, II6B, II6D, II6G; n = 4);
 - sels inorganiques, c'est-à-dire, sulfates, carbonates et nitrates (II6C; n = 1).

6.1.3 TYPES D'EXPOSITIONS

La plupart des publications décrivent la nature des voies d'exposition (spécifiques ou indifférenciées, directes ou indirectes) en lien avec les atteintes sanitaires documentées. De façon usuelle, on présume que les voies d'exposition comprennent essentiellement l'inhalation et l'absorption cutanée. Comme le précisent Alo *et al.* (2011), l'exposition par inhalation se produit généralement lorsqu'il y a présence de composés volatils (essentiellement des COV et des HAP) de faible poids moléculaire dans les produits pétroliers (bruts ou dégradés) susceptibles de s'évaporer dans l'air ambiant. Par ailleurs, l'exposition par voie cutanée est associée à diverses manipulations de produits pétroliers ou

d'objets souillés (roches, plantes, animaux, outils utilisés par les travailleurs, etc.). Les types d'expositions recensés dans les documents retenus sont résumés ci-dessous :

- Inhalation, ou contacts cutanés, ou indifférenciés, ou bien les trois à la fois, lors de l'exécution de travaux de décontamination/remédiation des sites contaminés (I1A, I1B, I2A à I2J, I2L, I2M, I2O à I2T, I2V, I3A, I3C à I3E; n = 25);
- Inhalation, ou contacts cutanés, ou ingestion, ou contacts indifférenciés, ou bien les quatre à la fois, survenus lors de la pratique d'activités quotidiennes à proximité des côtes, des estrans et des plages touchés – dont la baignade (I2G, I2I, I2K, I2M, I2N, I2O, I2P, I2Q, I2S, I2T, I2W, I2X, I2Y, I3C, I3E; n = 16);
- Inhalation, ou contacts cutanés, ou ingestion ou contacts indifférenciés, ou bien les quatre à la fois, survenus lors de l'utilisation d'eau destinée à la consommation (II5A, II6D, II6E, II6J; n = 4);
- Inhalation, ou contacts cutanés, ou indifférenciés, ou bien les trois à la fois, survenus lors de l'utilisation d'eau douce (surface ou souterraine) destinée à un autre usage domestique que la consommation (II6I, II5B; n = 2).

6.1.4 POPULATIONS EXPOSÉES

À l'exception des travailleurs occasionnels, des volontaires et des bénévoles participant aux opérations de nettoyage suivant les naufrages, les études retenues traitent essentiellement des populations vivant à proximité de sites contaminés. Dans la mesure où ces expositions ont été caractérisées, les personnes ayant participé aux travaux de remédiation semblent avoir subi des expositions de plus grande importance que les autres groupes étudiés.

- Résidents, travailleurs et bénévoles ayant participé au nettoyage du littoral contaminé (I1A, I1B, I1D, I2A à I2J, I2L, I2M, I2O à I2T, I2V, I3A, I3C à I3E; n = 23).
- Résidents locaux habitant ou évoluant près des sites contaminés (I2K, I2N, I2W à I2Y, II5A, II5B, II6D, II6E, II6I, II6J; n = 11).
- Vacanciers, touristes, usagers locaux des sites de villégiature (plages et estrans) contaminés (I2S, I2T; n = 2).

6.1.5 TYPES D'ATTEINTES SANITAIRES

Les éléments relatifs à l'exposition des populations concernées ont été obtenus de diverses façons (autodéclarées – questionnaires parfois remplis lors d'entrevues téléphoniques, d'observations cliniques ou par des analyses en laboratoire). Les principaux effets sanitaires sont :

- perturbations biochimiques, enzymatiques, cellulaires, mutagènes, génotoxiques et cancérigènes (I1A, I1B, I2B, I2C, I2D, I2G, I2A, I2M, I2N, I2S, I2T, I2U, I2W, I3A, I3C, II6A, II6B, II6D, II6E, II6G, II6H, II6I, II6J; n = 23);
- atteintes cutanées et des muqueuses, c'est-à-dire irritation, prurit, rougeurs, etc. (I1C, I2A, I2F, I2H, I2I, I2K, I2L, I2M, I2P, I2R, I2S, I2T, I2V, I2W, I2X, I2Y, I3C, I3E, II5A, II6F, II6G; n = 21);
- atteintes des voies respiratoires, c'est-à-dire irritation nasale, gêne respiratoire, etc. (I2A, I2E, I2F, I2H, I2I, I2K, I2O à I2R, I2V à I2Y, I3B, I3C, II5B, II6G; n = 18);
- atteintes neurologiques, c'est-à-dire céphalées, vertiges, troubles cognitifs, etc. (I2H à I2K, I2V, I2W, I2Y, I3C, I3D, I3E, II5A, II5B, II6F; n = 13);
- manifestations gastro-intestinales, c'est-à-dire nausées, vomissements, etc. (I2A, I3D, I3E, II5A, II5B, II6G; n = 6).

6.1.6 DISCUSSION

Les documents consultés s'articulent essentiellement autour d'événements accidentels ayant mené à des déversements de pétrole brut ou partiellement raffiné. S'ajoutent à ces événements deux cas de rupture d'oléoducs ainsi que divers cas de contamination environnementale, d'ampleur variable, tributaires de conditions d'exploitation non entièrement maîtrisées ou considérées comme précaires. L'ensemble des effets sanitaires indiqués est susceptible d'être observé chez les populations directement ou indirectement exposées au pétrole brut par l'intermédiaire de l'eau, pendant une période de temps variant habituellement entre un et plusieurs jours. Globalement, ces expositions se traduisent surtout par des manifestations cliniques réversibles à court terme (effets aigus), telles des irritations de la peau et des voies respiratoires supérieures. Puisque les auteurs des études retenues n'ont généralement pas effectué un suivi à long terme des populations exposées, il est impossible de connaître les effets chroniques pouvant résulter de telles expositions, le cas échéant.

Par ailleurs, des études ont également suggéré que de telles expositions sont susceptibles d'engendrer des perturbations métaboliques ou génotoxiques, sans qu'il soit possible de les attribuer à une durée d'exposition précise ou à des effets chroniques relatifs à l'exposition.

Les manifestations cliniques attribuables à l'exposition aux composantes du pétrole brut font l'objet d'un consensus, alors que la gravité et la persistance des atteintes semblent corrélées avec le type et l'ampleur de l'exposition. Des manifestations aiguës sont ainsi rapportées, tant chez certaines populations côtières incommodées par les émanations gazeuses (par exemple, Hae-Kwan, Byoung-Hak, Ryeon, Young-Hyun et Woo-Chul, 2012; Jeon *et al.*, 2012; Janjua *et al.*, 2006) que chez des personnes ayant eu des contacts directs avec les produits pétroliers lors des travaux de nettoyage et de remédiation. Dans ce dernier cas, les effets sanitaires sont très variables en intensité et en durée, notamment en fonction du port ou non d'équipement de protection personnelle adéquat (vêtements, gants, masques, etc.). De plus, l'intensité de ces effets peut être liée à divers facteurs de comorbidité, par exemple chez les fumeurs où les manifestations respiratoires sont exacerbées et d'une plus longue durée.

Alo *et al.* (2011) ont réalisé une revue de la littérature concernant les effets observés chez les travailleurs et les bénévoles ayant participé au nettoyage du littoral à la suite d'accidents pétroliers majeurs. Leur analyse montre que « [...] les risques sanitaires liés à l'exposition aux COV et aux HAP par inhalation sont négligeables du point de vue systémique [...]. En ce qui concerne les effets découlant du contact cutané, les constats sont variables et tributaires de nombreux facteurs comme la concentration qui traverse la barrière cutanée, la durée de l'exposition, les composés auxquels les personnes sont exposées, etc. Dans ce contexte, il n'y a pas de conclusion uniforme quant aux effets sanitaires d'une telle exposition chez les travailleurs ou les bénévoles participant aux opérations de nettoyage.

Ces mêmes auteurs (Alo *et al.*, 2011) ont également réalisé une revue des effets sanitaires potentiellement attribuables à l'exposition aux agents dispersants communément employés lors des travaux de décontamination à la suite des déversements de pétrole brut en milieu marin. Ces dispersants sont généralement composés de surfactants, d'émulsifiants, d'agents tensioactifs et de stabilisateurs ainsi que de solvants organiques. Les auteurs soulignent que la nature commerciale de ces produits limite grandement la caractérisation de leur composition ainsi que la possibilité d'évaluer de façon précise les risques associés à l'exposition à ces derniers. Alo *et al.* (2011) affirment que les auteurs des études considérées en viennent à élaborer des conclusions sur l'unique base de données toxicologiques propres à certains constituants particuliers reconnus comme étant présents dans les produits commerciaux, ce qui ne tient pas compte de l'effet synergique. L'absence d'études ayant trait aux risques cumulés est donc une limite importante, alors que plusieurs données

concernant l'exposition à des composés spécifiques relèvent généralement d'extrapolations à partir d'études animales.

Une série d'études réalisées à partir de marqueurs biologiques chez des personnes exposées spécifiquement dans le cadre du naufrage du pétrolier Prestige révèlent quelques perturbations métaboliques, une augmentation de la concentration plasmatique de certains métaux lourds (aluminium, nickel et plomb), des effets génotoxiques et cytogénétiques, notamment la présence de polymorphisme génétique. Certains types de polymorphisme montrent la susceptibilité éventuelle de certains gènes à des mutations. Les auteurs de ces études ne font cependant aucune projection des conséquences éventuelles que pourraient avoir ces observations, le cas échéant.

En ce qui concerne les cas d'exposition jugés non directement transposables au contexte québécois (c'est-à-dire, les documents traitant de l'exposition des populations du Niger et de l'Équateur), Ajayi Torto, Tchokossa et Akinlua (2009) de même qu'Agbalagba, Awiri et Ononugbo (2013) indiquent que l'ingestion d'eau souterraine contaminée par du pétrole brut ne constituerait pas un risque radiologique pour la population; le rayonnement naturel de ces matrices n'excédant pas la limite des doses d'exposition permise par l'Organisation mondiale de la santé (OMS). Cependant, l'utilisation ou l'ingestion d'eau contaminée par les produits issus, d'une part, des torchères associées aux sites d'exploitation de pétrole (Akobundu, 2014) ou, d'autre part, de déversements de produits pétroliers dans l'environnement (Nriagu, 2011; Ordinoha et Brissibe, 2013; San Sebastian *et al.*, 2002) peuvent engendrer des atteintes à la peau et aux muqueuses ainsi que des problèmes neurologiques, respiratoires et reproductifs chez les populations concernées.

6.1.6.1 Extrapolation au contexte québécois et données manquantes à documenter

Au Québec, les événements les plus susceptibles de mener à une exposition de la population à du pétrole brut par l'intermédiaire de l'eau sont essentiellement associés à des événements accidentels : rupture ou bris d'oléoduc, déraillement de wagons de chemin de fer, déversement de pétrole à partir d'un navire ou d'un quai de chargement et contamination de la nappe phréatique lors de forages. À ce dernier égard, il faut noter que la littérature colligée est muette quant à la présence de traces de pétrole brut dans les nappes d'eau souterraine et quant aux effets sur la santé associés à l'exposition au pétrole par l'entremise de cette eau. Il existe de nombreux documents traitant de la contamination des nappes d'eau souterraine sans qu'ils abordent toutefois les effets sanitaires. Au mieux, une liste plus ou moins exhaustive de constituants moléculaires du pétrole – par exemple les HAP ainsi que le benzène, le toluène, l'éthylbenzène et les xylènes (BTEX) – est présentée en relation avec leurs effets spécifiques (et relativement bien connus) sur la santé. Similairement, toute la question des fluides potentiellement injectés lors de l'application de techniques de stimulation ou de fracturation hydraulique n'est pas rapportée dans la littérature pour ce qui est des effets sanitaires de ces fluides, pouvant être observés chez des populations exposées par l'intermédiaire de l'eau souterraine. Ce type d'information a été occasionnellement mentionné dans certains cas à propos de l'exploitation des gaz de schiste, mais n'a pas été précisé quant au forage pétrolier. À cet égard, il appert que les fluides de forage de même que les eaux de fracturation et de résurgence (saumures) contaminés par du pétrole peuvent constituer un risque d'exposition populationnelle s'ils se mélangent avec les eaux destinées à la consommation humaine, notamment par l'intermédiaire de microfissures dans la gaine du puits. Les lacunes à propos de ce type de connaissance sont mises en évidence dans certaines études d'évaluation environnementale stratégique – ÉES (GENIVAR, 2013; Comité de l'évaluation environnementale stratégique sur le gaz de schiste, 2014).

6.1.7 CONCLUSION

L'exposition populationnelle au pétrole brut découle presque invariablement d'événements accidentels (naufrages de navires, problèmes de plateformes de forage, déversements à la suite de ruptures d'oléoducs, déraillements de wagons de chemin de fer) ou est associée à des sites d'exploitation mal contrôlés. L'exposition à du pétrole brut par l'intermédiaire de l'eau contaminée entraîne un certain nombre de manifestations cliniques qui font l'objet d'un consensus dans la littérature scientifique consultée :

- Ces effets comprennent des céphalées, des irritations de la peau, des muqueuses (principalement du nez et de la gorge) et des yeux ainsi que divers problèmes respiratoires (principalement gêne respiratoire et toux);
- Ces effets sont qualifiés d'aigus, car ils sont observés dans les heures ou les jours suivant l'exposition et sont généralement réversibles.

Puisque les études populationnelles consultées n'ont pas fait l'objet d'un suivi à long terme auprès des personnes exposées, il n'est présentement pas possible de faire état de séquelles chroniques ou subchroniques, le cas échéant. L'importance des effets sur la santé semble par ailleurs liée au type d'exposition. Ainsi, des manifestations plus importantes ont été notées chez les volontaires et les travailleurs affectés au nettoyage du littoral à la suite de naufrages, comparativement aux manifestations rapportées par des personnes vivant à proximité des lieux contaminés, mais qui n'ont pas participé à ces opérations de remédiation.

Par ailleurs, dans le cas d'un naufrage spécifique, celui du Prestige sur les côtes de l'Espagne, une équipe de chercheurs a mis en évidence certaines perturbations cytogénétiques (lésions à l'ADN du noyau cellulaire), métaboliques (modification de la concentration du cortisol et de la prolactine plasmatiques), chromosomiques (polymorphismes génétiques) et plasmatiques (augmentation de la concentration de métaux lourds dans le sang) chez des personnes exposées. Les conséquences éventuelles de ces perturbations ne sont cependant pas discutées par les chercheurs.

Dans le contexte de la présente revue de littérature, il appert que, pour éviter toute exposition populationnelle à du pétrole brut, des mesures de gestion relatives aux déversements d'hydrocarbures doivent être planifiées. Ces mesures de gestion comprennent notamment la construction de structures de confinement au pourtour des sites d'extraction, de transbordement et d'entreposage du pétrole; le suivi de la qualité des sources d'eau potable vulnérables ainsi que le port d'équipement de protection adéquat lors de l'exécution d'éventuels travaux de nettoyage. Par ailleurs, il s'avère pertinent d'acquérir certaines connaissances pour mieux comprendre les facteurs de risque relatifs à cette filière et de définir les moyens de gestion des risques les plus appropriés :

- Le principal aspect à documenter concerne les potentialités d'exposition de la population au pétrole brut par l'entremise de l'eau potable de source souterraine. En effet, la littérature colligée est muette quant à la présence de traces de pétrole brut dans les nappes d'eau souterraine.
- Par ailleurs, l'exposition de la population aux fluides utilisés ou issus de l'application de techniques de stimulation ou de fracturation hydraulique n'est pas précisée dans la littérature dans le contexte de l'exploitation pétrolière. Il en est de même pour ce qui est des effets sanitaires pouvant être observés chez les populations exposées à l'eau souterraine qui serait contaminée par ces fluides.
- Les effets sur la santé découlant de l'exposition aux produits dispersants employés lors des travaux de nettoyage suivant les déversements en milieu marin ont été sommairement décrits dans le présent document sur la base d'une seule revue de littérature. Une revue plus exhaustive

des écrits portant sur les risques sanitaires associés à l'exposition à de tels produits pourrait être réalisée ultérieurement.

- Finalement, les effets sanitaires découlant de l'ingestion de produits de la pêche (et plus particulièrement les organismes marins benthiques) contaminés par des produits pétroliers n'ont pas été documentés dans la présente étude, cet aspect n'étant pas inclus dans le mandat initial; cet enjeu pourrait faire l'objet d'une revue de littérature.

6.2 Impacts de la contamination des sols et des sédiments sur la santé de la population

La recherche documentaire a montré qu'il existe une abondante littérature sur les impacts sanitaires suivant des événements accidentels entraînant la pollution de l'environnement par les hydrocarbures (ex. : naufrage des pétroliers Exxon Valdez et Erika, et explosion sur la plateforme pétrolière Deepwater Horizon).

Toutefois, il n'existe que relativement peu d'études portant sur les enjeux de santé publique reliés à la pollution des sols ou des sédiments découlant des activités régulières des phases d'exploration et d'exploitation pétrolière. De plus, selon les connaissances recueillies, aucune évaluation complète de l'exposition de la population et des risques pour la santé en résultant n'a été réalisée dans un contexte similaire à celui prévalant au Québec en milieu terrestre et marin. Les rares données de la littérature scientifique proviennent d'études réalisées dans des pays tropicaux tels que le Nigeria, l'Équateur, la Chine, le Ghana et le Mexique. Dans ces pays, les conditions d'exploitation (d'origine climatique, socioéconomique, sanitaire ou géomorphologique) peuvent *a priori* être présumées comme étant différentes de celles qui auraient cours au Québec. Ces conditions différentes peuvent avoir un impact sur l'ampleur des effets potentiels de l'exploration et de l'exploitation du pétrole sur la santé physique, socioéconomique et psychologique des populations concernées. En effet, les conditions géologiques de ces régions du monde peuvent être suffisamment dissemblables de celles du Québec pour que la contamination des sols suivant l'exploration et l'exploitation pétrolière diffère, en particulier en ce qui concerne les substances issues de la croûte terrestre comme les métaux et les radionucléides. Par conséquent, l'extrapolation, au contexte québécois, des constats dressés dans ces pays concernant la contamination des sols découlant de l'exploitation pétrolière, paraît, de prime abord, être un exercice dont on peut remettre en cause la légitimité. Enfin, il faut mentionner que les études portant sur la situation prévalant au Québec (ex. : GENIVAR, 2013) sont des études prospectives de type *études d'impacts*, en ce sens que des hypothèses y sont émises, principalement quant aux risques reliés à la contamination de l'environnement québécois (ex. : golfe du Saint-Laurent) dans l'éventualité où une exploitation pétrolière se réaliserait, sans pour autant que des données sur le terrain puissent confirmer ou infirmer ces hypothèses.

6.2.1 PRODUITS DU PÉTROLE

La présente sous-section se divise en trois parties. La première traite de l'exposition humaine aux produits du pétrole, qui résulte de la contamination des sols à la suite de l'exploration et de l'exploitation du pétrole en milieu terrestre. La seconde se penche sur la même question, mais en regard cette fois de la contamination des sédiments à la suite de l'exploration ou de l'exploitation du pétrole en milieu marin. Enfin, la troisième section aborde le sujet des risques sanitaires découlant de ces deux types d'exposition humaine.

6.2.1.1 Contamination des sols et exposition humaine

Les hydrocarbures et les autres substances organiques trouvées dans le pétrole (principalement les COV et les HAP, mais également certains métaux présents naturellement dans la croûte terrestre) peuvent parvenir à contaminer les sols de surface. Cette contamination peut se produire lors de conditions normales de fonctionnement suivant la disposition inadéquate des déchets de forage tels que les boues, les sédiments (en milieu marin) et les eaux usées (ex. : Ite, Ibok, Ite et Petters, 2013) ainsi qu'à la suite de l'activité de torchage entraînant un dépôt des contaminants (Ite et Ibok, 2013). Toutefois, la contamination des sols est principalement causée par des déversements accidentels (ex. : Ite, Ibok, Ite et Petters, 2013; Ite et Ibok, 2013; Nduka, Obumelu, et Umedum, 2012; Sebastian et Hurtig, 2004), ou encore par des activités industrielles à la suite desquelles les installations sont abandonnées (ex. : Iturbe, Flores et Torres, 2003a, 2003b). Ce dernier cas de figure étant associé aux activités de transformation des produits pétroliers plutôt qu'à leur exploitation, sur laquelle se focalise le présent mandat, il ne sera pas abordé plus en détail ici.

Par ailleurs, les poussières et les particules de sols contaminés, portées par le vent hors des sites contaminés proprement dits, peuvent représenter une source d'exposition pour les populations avoisinantes, que ce soit par inhalation ou par ingestion des particules emportées ou encore par contact cutané avec ces dernières, en particulier chez les jeunes enfants (Équipe scientifique sur les risques toxicologiques de l'INSPQ [ESRT-INSPQ], 2012). De plus, la migration, dans les sols, des contaminants du pétrole est un phénomène connu (ex. : Chen et Huang, 2003; Fan, Yang, Du, Lu et Yang, 2011). Ainsi, un site contaminé – à la suite de la tenue d'activités d'exploration ou d'exploitation, ou bien d'autres activités – pourrait contribuer à l'exposition des populations avoisinantes, si elles sont en contact direct avec le sol contaminé, dans la mesure où celles-ci ne sont pas très éloignées de ce site. Enfin, ce type de migration souterraine peut conduire au phénomène d'intrusion de substances volatiles provenant du pétrole (les BTEX par exemple) dans les sous-sols des maisons des quartiers résidentiels situés à proximité du site (ESRT-INSPQ, 2012).

6.2.1.2 Contamination des sédiments et exposition humaine

En milieu marin, les sédiments présents au pourtour des sites de forage peuvent être contaminés par les mêmes produits employés lors des forages en milieu terrestre, que ce soit en raison des fuites liées au puits de forage lui-même ou encore en raison du rejet en mer, par les plateformes pétrolières, des boues utilisées comme lubrifiant.

Ces boues sont d'origine aqueuse ou huileuse (quoique ces dernières soient de plus en plus remplacées par des boues dites *synthétiques*, moins toxiques). Les *boues synthétiques* ou *huileuses* doivent normalement être collectées et disposées de manière sécuritaire à la suite des opérations de forage, alors que les boues aqueuses sont généralement rejetées directement à la mer, car leur toxicité est jugée minime pour l'environnement (GENIVAR, 2013). Dans ce cas, les boues rejetées peuvent se disperser et ultimement se déposer de nouveau sur les fonds marins, sur des aires vraisemblablement plus grandes que celles se limitant à la zone immédiate d'influence des sites de forage. Puisqu'elles contiennent des substances chimiques et certains métaux lourds, ces boues peuvent donc augmenter le degré de contamination des sédiments touchés. Or, la contamination de la chaîne alimentaire à partir de la faune benthique vivant dans les sédiments et sur les fonds marins est évoquée dans la littérature ayant trait aux impacts de l'exploration et de l'exploitation pétrolière en milieu marin (GENIVAR, 2013).

Ce serait également le cas lorsque l'on considère les poissons et les mollusques indigènes des milieux aquatiques de surface se trouvant dans les régions où d'intenses activités pétrolières en milieu terrestre ont cours (Lindén et Pålsson, 2013). Dans la mesure où ces poissons ou ces

mollusques peuvent être destinés à la consommation humaine, ils pourraient également représenter une source d'exposition aux contaminants du pétrole.

6.2.1.3 Impacts des contaminants provenant des sols et des sédiments sur la santé humaine

Les données de la littérature ne permettent pas de distinguer les impacts sur la santé liés à la contamination des sols découlant de l'exploration et de l'exploitation pétrolière de ceux découlant de la contamination des sols suivant d'autres activités industrielles, comme la transformation pétrochimique, ou suivant l'abandon pur et simple de sites contaminés. Dans ce contexte, les impacts sur la santé correspondent à ceux liés de façon générale aux substances en cause dans ces activités (principalement les BTEX, regroupement de COV que sont le benzène, le toluène, l'éthylbenzène et les xylènes; les HAP et certains métaux, en particulier le cadmium) et ne sont pas propres aux types d'activités ou d'événements (ici, l'exploration et l'exploitation) ayant mené à la contamination des sols. Autrement dit, les impacts de ces substances sur la santé humaine sont possibles lorsqu'il y a une exposition humaine; toute situation qui peut générer cette exposition, et non pas la contamination des sols en tant que telle à la suite de l'exploration et de l'exploitation pétrolière, est susceptible d'engendrer les effets toxiques associés aux substances citées, lesquels sont décrits ci-dessous.

Ainsi, il faut rappeler que la principale préoccupation de santé publique quant aux effets du benzène et des HAP concerne le potentiel cancérigène de ces substances (Agency for Toxic Substances and Disease Registry [ATSDR], 1995, 2007a), alors que le toluène, l'éthylbenzène et les xylènes sont des neurotoxiques (ATSDR, 1999a, 2000, 2007b). Quant au cadmium, sa toxicité est reconnue pour les reins et les os, et on le soupçonne également d'être toxique pour le système cardiovasculaire (ATSDR, 1999b). Ces effets peuvent être possibles dans la mesure, bien évidemment, où une exposition humaine aux sols contaminés a lieu. Typiquement, une telle exposition se produit plutôt chez les travailleurs œuvrant sur les sites de forage. Toutefois, certaines études ont démontré que les activités d'exploration et d'exploitation pétrolière peuvent conduire à une augmentation de la contamination des sols de la région avoisinant les sites où ces activités se déroulent (Ite et Ibok, 2013); dans la mesure où des populations générales se trouvent à proximité des sites de forage, la problématique de santé publique associée à cette question pourrait dépasser le cadre du milieu professionnel immédiat. En particulier, si des activités potagères sont effectuées dans des régions où des déversements accidentels ont eu lieu. Dans ces cas, l'accumulation possible d'hydrocarbures, de HAP et de métaux – en particulier le cadmium – dans les aliments cultivés (Ordinoha et Brisibe, 2013; Kazimov, 2007; Essiett, Effiong, Ogbemudia et Bruno, 2010) pourrait conduire à une augmentation de l'exposition des gens consommant les fruits et les légumes cultivés.

En terminant, il faut souligner que Dahlgren *et al.* (2007) ont réalisé une investigation en ce qui concerne des agrégats de lupus érythémateux et d'autres maladies auto-immunes, et ont obtenu des associations statistiquement significatives considérant la proximité d'un champ d'exploitation pétrolière (*oil field*) ainsi que les concentrations générales en mercure – un neurotoxique, cardiotoxique et immunotoxique reconnu (ATSDR, 1999c) – et en produits du pétrole dans les sols des secteurs où demeuraient les personnes atteintes. Bien qu'elle comporte de nombreuses limites, cette étude a tout de même le mérite, selon la revue réalisée, d'être une des seules qui fait un lien entre la proximité des sites d'exploitation et d'exploration du pétrole et l'apparition d'atteintes à la santé.

Suivant cette logique, d'autres auteurs ont toutefois tenté des évaluations du risque de l'exposition aux HAP en fonction de la distance entre des résidences et les sites contaminés aux HAP, dont des champs d'exploitation pétrolière (Kuang et Zhao, 2011; Kuang, Wu et Zhao, 2011; Zhang *et al.*, 2013; Olawoyin, Grayson et Okareh, 2012). Toutefois, ces dernières études se sont basées sur les

concentrations dans les sols, lesquelles incidemment diminuaient avec la distance. Sans surprise, les risques sont évalués comme étant plus élevés lorsque la distance est courte, en particulier à un kilomètre ou moins (et les concentrations dans les sols élevées). Donc, ces études reviennent à évaluer le risque pour des concentrations données de HAP dans les sols, peu importe l'origine de ces HAP (champs pétrolifères ou autres activités industrielles telles que la pétrochimie). Qui plus est, la qualité de ces études est faible en général. Par exemple, bien que les titres des articles de Kuang et de Zhao (2011) et de Kuang, de Wu et de Zhao (2011) laissent entrevoir qu'une évaluation du risque pour la santé humaine a été réalisée, la lecture attentive de ces articles montre que ce n'est pas le cas.

De même, l'évaluation du risque d'Olawoyin, de Grayson et d'Okareh (2012) laisse soupçonner une méconnaissance de la façon dont on doit tenir compte de l'exposition pour évaluer les risques cancérigènes. Enfin, de façon générale, toutes ces études sont de nature écologique et ne permettent pas d'associer de manière précise le risque pour la santé humaine évalué d'une part, avec les activités d'exploration et d'exploitation du pétrole menées d'autre part.

6.2.2 RADIONUCLÉIDES

L'activité d'extraction du pétrole, particulièrement en milieu terrestre, peut entraîner une augmentation de la concentration en radionucléides des sols de surface. En effet, le processus de forage, surtout lors de l'exploitation, mais également lors des activités exploratoires (Tchokossa, Olomo, Balogun et Adesanmi, 2013), peut permettre à des radionucléides présents naturellement dans la croûte terrestre de remonter vers la surface, que ce soit en raison de leur présence dans le pétrole extrait ou encore parce qu'ils se trouvent dans les boues et les déchets de forage. Les radionucléides métalliques concernés sont typiquement le potassium 40, l'uranium 238, le thorium 232 (Jibiri et Amakom, 2011; Agbalagba, Avwiri et Chad-Umoreh, 2012, Tchokossa, Olomo, Balogun et Adesanmi, 2013), mais le plomb 210 (^{210}Pb), le radium (226 et 228) et le césium 137 peuvent aussi faire partie du lot (Kpeglo *et al.*, 2014).

Localement, ce phénomène peut engendrer une augmentation du rayonnement ionisant de type *bruit de fond* dû aux radionucléides du sol de surface de la région concernée par les forages en milieu terrestre (Agbalagba, Avwiri et Chad-Umoreh, 2012, Ordinioha et Brisibe, 2013), mais pas dans le cas des forages en milieu marin, et ce, même s'ils sont effectués à proximité de la côte (Kpeglo *et al.*, 2014), vraisemblablement en raison de l'effet de dilution causé par l'océan.

De plus, certains processus techniques reliés aux activités d'exploration et d'exploitation pétrolière requièrent des matériaux légèrement radioactifs non spécifiés (Jibiri et Amakom, 2011). L'impact sur la santé d'une augmentation du contenu des sols en radionucléides a été évalué comme étant insignifiant par les auteurs ayant étudié la question, mais la prudence commande tout de même de surveiller les tendances naturelles de *bruit de fond* dans les secteurs où les forages ont cours (Agbalagba, Avwiri et Chad-Umoreh, 2012; Tchokossa, Olomo, Balogun et Adesanmi, 2013; Kpeglo *et al.*, 2014; Ajayi, Torto, Tchokossa et Akinlua, 2009), surtout que les activités de forage peuvent également contribuer à la libération possible de ^{222}Rn , ce qui est un enjeu de santé publique important lorsque ce gaz se retrouve dans l'air intérieur des bâtiments (Jibiri et Amakom, 2011).

6.2.3 POSSIBILITÉS D'ÉVALUATION DU RISQUE CONSIDÉRANT LES DONNÉES DISPONIBLES

La réalisation d'une revue de la littérature pertinente a permis de constater que la question de l'impact de la contamination des sols sur la santé de la population en raison de la présence d'activités d'exploration et d'exploitation pétrolière ne peut être que difficilement évaluée en tant que telle. En effet, il importe de se rappeler qu'en absence de projet précis, estimer l'exposition de la

population québécoise au moyen des sols contaminés dans le cadre déterminé d'activités d'exploration et d'exploitation pétrolière n'est pas possible. Or, l'évaluation de l'exposition constitue l'une des quatre étapes essentielles à l'évaluation du risque toxicologique, les autres étant l'identification du danger, l'évaluation de la relation dose-réponse et l'estimation quantitative du risque (ESRT-INSPQ, 2012). Cet avertissement étant fait, il est possible, toutefois, d'apprécier indirectement cet impact par l'étude d'évaluations - transversales, épidémiologiques ou du risque - ayant porté sur des contaminants du pétrole, que ce soit les hydrocarbures mêmes ou encore les produits secondaires comme les BTEX, sans égard aux types d'événements ou d'activités ayant conduit à la présence de ces contaminants dans les sols. Les principaux éléments qui ressortent des lectures et des réflexions relatives à cette section sont présentés ci-dessous.

Dans la mesure où l'on bénéficie de données sur la contamination réelle des sols avoisinant les sites de forage à la suite de la réalisation d'activités d'exploration et d'exploitation, l'INSPQ dispose de l'expertise pour réaliser des évaluations du risque toxicologique que de telles contaminations pourraient constituer. En effet, l'Équipe scientifique sur les risques toxicologiques de l'INSPQ a publié en 2012 les *Lignes directrices pour la réalisation des évaluations du risque toxicologique d'origine environnementale au Québec*, lesquelles balisent les méthodes à utiliser pour caractériser l'exposition de la population québécoise aux contaminants environnementaux et les risques pour la santé humaine en découlant. Ces méthodes s'inspirent fortement des principes fondamentaux de l'évaluation du risque toxicologique édictés par le National Research Council des États-Unis, lequel détaille, dans son « livre rouge » de 1983, les quatre étapes principales de ce processus, soit l'identification du danger, l'évaluation de la relation dose-réponse, l'évaluation de l'exposition et la caractérisation du risque (National Research Council [NRC], 1983).

6.2.4 PRINCIPAUX CONSTATS ET DONNÉES MANQUANTES À DOCUMENTER

L'évaluation et la gestion des impacts sanitaires potentiels reliés à l'exploration et à l'exploitation pétrolière doivent prendre en compte l'exposition possible de la population à la contamination des sols ou des sédiments découlant des activités réalisées par cette industrie. L'état des connaissances actuelles provenant de la littérature scientifique et grise ne permet pas de faire cet exercice en vue d'une application au contexte québécois. Toutefois, sur la base de ce qui a été observé dans des pays en voie de développement où les conditions socioéconomiques, climatiques et géomorphologiques sont fort différentes, *a priori*, de celles prévalant au Québec, la littérature met en évidence des possibilités bien réelles de contamination des sols, en milieu terrestre, et des sédiments et des fonds marins, en milieu marin, lors de l'exploration et de l'exploitation du pétrole. Cette contamination peut être d'origine chimique (par l'entremise des HAP, des BTEX et de métaux lourds notamment) ou radiologique (par l'entremise des radionucléides).

Une évaluation exhaustive de l'impact sur la santé humaine du développement de l'exploration et de l'exploitation pétrolière au Québec demanderait donc, en premier lieu :

- de documenter et de caractériser les sources de pollution des sols et des sédiments des environnements (locaux ou régionaux) visés par les activités, en accord avec les scénarios de développement des activités d'exploration et d'exploitation pétrolière envisagés pour le Québec (sites spécifiques d'exploration et d'exploitation; nombre de puits ou de plateformes par site; densité, méthodes et techniques retenues pour la mise en œuvre des activités telles que le forage et l'entreposage; durée de l'exploration et de l'exploitation, etc.);
- d'obtenir une liste exhaustive (complète) des produits chimiques, et leurs quantités respectives, dont on envisage l'utilisation durant les activités, menées en territoire québécois, qui sont reliées à l'exploration et à l'exploitation des hydrocarbures gazeux et pétroliers.

En second lieu, l'évaluation quantitative des risques, en accord avec la procédure décrite dans les lignes directrices mentionnées ci-dessous, sous-tend l'utilisation des données portant sur les concentrations environnementales (ici, dans les sols et les sédiments) dans les milieux où les populations se trouvent; par conséquent, il sera nécessaire d'obtenir de telles données applicables au contexte québécois. Ainsi, des données mesurées sur le terrain (ex. : Anticosti, Gaspésie), ou modélisées, pourraient être utilisées.

- Dans le cas des sols, en milieu terrestre, il faudrait obtenir les valeurs de concentration des contaminants pertinents à la suite de leur migration à partir des sites potentiels d'émissions dans les sols au cours des activités régulières d'exploration et d'exploitation (sites de forages; sites d'entreposage des boues de forage; percolations, le cas échéant, depuis les pipelines), en fonction de leur potentiel de migration, depuis ces sites vers les zones habitées.
- Ultérieurement, les données de concentration de contaminants dans les sols des zones habitées devront permettre la modélisation de leur migration à partir des sols des milieux sources vers d'autres milieux et organismes à potentiel d'exposition pour les populations humaines, soit les eaux souterraines, l'air ambiant et les végétaux cultivés sur ces sols (potagers ou agriculture de masse).
- En milieu marin, la modélisation des concentrations dans les produits de la pêche destinés à la consommation humaine (poissons, crustacés, mollusques) à la suite de la contamination des sédiments découlant des activités de forage serait requise.

Enfin, la production d'évaluations de risques rigoureuses requiert une caractérisation des concentrations de *bruit de fond* des contaminants pertinents (en premier lieu, on peut identifier les HAP, et les radionucléides mentionnés plus haut) dans les sols et sédiments des environnements québécois visés par les activités d'exploration et d'exploitation de l'industrie.

6.2.5 PROPOSITION DE PISTES D'OPTIONS DE GESTION DES RISQUES (MESURES DE PRÉVENTION, D'ATTÉNUATION, ETC.)

Au Québec, le cadre législatif défini par le Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains encadre la gestion des sols contaminés et peut permettre, dans certains cas, le recours à l'analyse du risque posé par un site donné pour en gérer la contamination qui est alors laissée en place. Cependant, les lignes de conduite du Groupe technique d'évaluation (2008) en ce qui concerne les cas de terrains contaminés, groupe dirigé par le MDDELCC, ne permettent pas d'alléguer les résultats d'analyses de risque pour justifier de laisser en place des terrains contaminés par des hydrocarbures pétroliers ainsi que par des composés volatils comme les BTEX. Dans ces cas, les terrains concernés doivent obligatoirement être excavés ou décontaminés, selon les exigences d'usage prévues par le Règlement.

On pourrait théoriquement s'attendre à une augmentation de ce genre de cas à gérer au Québec dans l'éventualité où l'exploration et l'exploitation pétrolière y seraient mises de l'avant, mais on ne peut pas vraiment évaluer l'ampleur de cette augmentation. Pour arriver à l'estimer, il faudrait avoir au moins une idée de l'étendue des superficies des terrains sur lesquels des activités d'exploitation et de transformation des produits du pétrole sont envisagées, de même que des volumes de terrains contaminés qui pourraient en découler.

6.3 Impacts de la contamination de l'air ambiant sur la santé de la population

Cette section porte sur les expositions et les risques sanitaires associés aux contaminants de l'air produits lors des activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures. Elle ne porte pas sur les expositions lors des accidents/des déversements (en lien avec les dispersants et la combustion d'hydrocarbures); ce type d'exposition est traité ailleurs dans le document. Elle ne porte pas non plus sur les émissions de gaz à effet de serre, puisqu'ils n'induisent pas d'effets directs sur la santé de la population aux concentrations trouvées dans l'environnement. Le réchauffement climatique associé aux émissions de dioxyde de carbone (CO₂) et de méthane pourrait induire des effets indirects, mais ces effets ne sont pas couverts ici.

6.3.1 POLLUANTS ÉMIS LORS DES ACTIVITÉS D'EXPLORATION ET D'EXPLOITATION DES HYDROCARBURES

Les activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures engendrent l'émission de polluants de l'air tels que des particules fines (PM_{2,5}, dont le diamètre médian est < 2,5 µm), des NO_x, des SO_x même que des COV comme le benzène, le toluène, les xylènes, l'éthylbenzène et des aldéhydes (Field, Soltis et Murphy, 2014; Olaguer, 2012; US Environmental Protection Agency [US EPA], 2008). Les émissions de NO_x et de COV peuvent contribuer à la formation d'ozone sous les vents provenant des sites d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures (Field, Soltis et Murphy, 2014).

La combustion de carburant lors de l'utilisation d'équipements (c'est-à-dire, pompes et compresseurs) employés lors des forages et le transport par pipeline du gaz et du pétrole, contribuent aux émissions de NO_x, de PM_{2,5} et de COV. Quant à la circulation des camions et des bateaux, elle est associée à des émissions de NO_x, de SO_x, de PM_{2,5} et de COV. Les véhicules routiers génèrent de leur côté des poussières de route lorsque les routes ne sont pas pavées. Le brûlage de gaz par les torchères contribue pour sa part aux émissions de COV et de NO_x. Des émissions fugitives de COV sont associées à la manutention et à l'entreposage des rejets d'eau de même qu'aux fuites d'équipements (Field, Soltis et Murphy, 2014; US EPA, 2008; Schifter, González-Macías, Miranda et López-Salinas, 2005; Littlejohn et Lucas, 2003).

Les émissions varient selon le type d'extraction (pétrole ou gaz, extraction conventionnelle ou non conventionnelle), mais très peu d'informations existent à cet effet. L'extraction non conventionnelle permettrait l'émission de davantage de contaminants pour la production de la même quantité d'hydrocarbures que lors de l'extraction conventionnelle, étant donné, notamment, l'utilisation et le rejet de plus grands volumes d'eau et le forage d'un plus grand nombre de puits (Field, Soltis et Murphy, 2014).

D'autres contaminants peuvent aussi être émis à proximité de sites d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures comme le sulfure d'hydrogène, s'il est présent dans les gaz brûlés par les torchères par exemple (Abdul-Wahab, Ali, Sardar et Irfan, 2012). Des niveaux élevés de HAP ont aussi été mesurés dans une ville où sont construits des puits d'hydrocarbures (Ana, Sridhar et Emerole, 2012).

Les activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures peuvent donc contribuer à l'augmentation des concentrations des polluants mentionnés plus haut (c'est-à-dire, les NO_x, les SO_x, les PM_{2,5}, les COV et les HAP) dans l'air ambiant, notamment à proximité des sites d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures, et contribuer à l'augmentation de l'exposition des populations locales (Field, Soltis et Murphy, 2014). Cependant, très peu d'informations existent sur l'exposition des populations aux polluants de l'air en lien avec l'exploration et l'exploitation des hydrocarbures.

Les expositions varieront selon la distance entre les populations et les sites, l'intensité des activités et les autres conditions particulières (ex. : topographie). Une étude récente rapportait qu'à proximité de sites d'exploration et d'exploitation non conventionnels des hydrocarbures, les niveaux de benzène, de formaldéhyde et de sulfure d'hydrogène excédaient souvent des valeurs de référence (Macey *et al.*, 2014). Les populations de travailleurs sont vraisemblablement celles qui sont exposées aux niveaux les plus élevés de contaminants, notamment dans des situations où l'exploitation se fait en haute mer ou bien dans le contexte où les sites d'exploration et d'exploitation sont situés loin des quartiers résidentiels.

6.3.2 EFFETS DES POLLUANTS DE L'AIR ÉMIS LORS DES ACTIVITÉS D'EXPLORATION ET D'EXPLOITATION DES HYDROCARBURES

Il existe une considérable littérature sur les risques pour la santé associés à l'exposition aux polluants de l'air (comme les PM_{2,5}, les NO_x, les SO_x et l'ozone), mais très peu d'études ont été réalisées auprès des personnes qui résident à proximité des sites d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures. Les études ayant trait aux effets des polluants de l'air sur la santé ont surtout été effectuées en milieu urbain. Cette abondante littérature montre que les expositions de courte et de longue durée à ces polluants de l'air peuvent entraîner des effets sanitaires, notamment des effets cardiorespiratoires. Ainsi, une exposition à court terme aux principaux contaminants de l'air en milieu urbain (c'est-à-dire, ozone, NO_x, SO_x, PM_{2,5}) a été associée à une augmentation des symptômes respiratoires, à une baisse des fonctions pulmonaires, à une hausse des visites à l'urgence et des hospitalisations pour des problèmes cardiorespiratoires et à une augmentation des décès. À long terme, l'exposition aux particules fines et aux émissions des véhicules routiers (ex. : NO_x) peut être reliée à une altération du développement des poumons et au développement de l'asthme chez les enfants (Health Effects Institute, 2010; US EPA, 2009). L'augmentation de l'exposition prolongée aux particules fines a aussi été associée à une hausse des risques de mortalité, notamment pour des problèmes cardiorespiratoires (US EPA, 2009.). Les polluants de l'air extérieur ont été récemment reconnus comme étant cancérigènes par le CIRC (2013) : http://www.iarc.fr/fr/media-centre/pr/2013/pdfs/pr221_F.pdf.

L'exposition aux COV aromatiques peut engendrer des effets aigus et chroniques lorsque les concentrations sont au moins 10 fois plus élevées que celles trouvées dans l'air ambiant général. L'exposition à court et à long terme aux COV aromatiques en milieu de travail peut être reliée à des effets cognitifs et comportementaux, et à des cancers (Brisson *et al.*, 2010).

Parmi les quelques études réalisées auprès des personnes qui résident à proximité des sites d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures, l'une d'elles suggère une association entre la densité des puits de gaz naturel et la proximité des sites, et des malformations congénitales cardiaques (McKenzie *et al.*, 2014). Une autre étude récente ne souligne aucun changement dans l'incidence de cancers chez les enfants avant et après le forage par fracturation hydraulique (Fryzek, Pastula, Jiang et Garabrant, 2013). Les résultats de ces études, qui sous-tendent une exposition par l'entremise de l'air, doivent être reproduits, parce que ces études comportent plusieurs limites, notamment pour estimer l'exposition des populations.

6.3.3 ESTIMATION DES RISQUES

Malgré le peu d'études effectuées auprès des personnes qui résident à proximité des sites d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures, les risques pour la santé, associés à l'exposition aux polluants de l'air émis lors de l'exploration et de l'exploitation des hydrocarbures au Québec, peuvent être évalués à partir d'études épidémiologiques concernant les effets des polluants de l'air sur la santé, menées surtout en milieu urbain. Il faut cependant obtenir des estimations des

expositions en période d'exploration et d'exploitation sur le territoire québécois pour être en mesure de réaliser une telle évaluation des risques.

6.3.4 DONNÉES MANQUANTES À DOCUMENTER

Il existe peu d'informations sur les niveaux d'exposition des populations aux NO_x, aux SO_x, aux PM_{2,5} et aux COV avant, pendant et après les activités de forage. Des études traitant des effets sur la santé associés aux expositions aux polluants de l'air à proximité des sites d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures sont aussi pratiquement inexistantes. Aussi, l'effet cumulé des composés émis dans l'air n'est pas documenté.

Finalement, les données nécessaires à l'estimation de l'exposition des populations de même que des risques pour la santé associés à l'exploration et à l'exploitation des hydrocarbures au Québec ne sont pas disponibles. Ces données incluent notamment pour tout projet potentiel d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures :

- le type et le nombre d'équipements mécaniques utilisés;
- les combustibles employés;
- la durée de fonctionnement de ces équipements et de ces machineries (nombre d'heures par jour, nombre de jours au cours desquels ils sont en marche, par exemple);
- les taux d'émissions de polluants des équipements et des installations;
- le volume et la durée d'évaporation des lagunes pour les eaux usées;
- le volume final des eaux usées à traiter;
- le trafic routier supplémentaire induit;
- la distance entre les sources d'émissions et les milieux de vie des populations;
- le gaz émis des torchères, leur hauteur, leur emplacement.

6.3.5 CONCLUSIONS

Les polluants de l'air émis lors des activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures incluent les NO_x, les SO_x, les PM_{2,5} et les COV. Les émissions varient selon le type d'extraction (pétrole ou gaz, extraction conventionnelle ou non conventionnelle), mais très peu d'informations existent à cet effet. Les populations vivant près des puits seraient plus exposées, mais il y a également peu d'informations sur les expositions des populations aux émissions de polluants de l'air associés aux activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures.

Les polluants produits lors des activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures sont associés à des effets cardiorespiratoires et à des cancers. Très peu d'études auprès des personnes qui résident à proximité des sites d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures ont été publiées et celles menées présentent des limites. Récemment, deux études ont été réalisées chez des populations résidant près de ces sites. La première suggère une association entre des malformations congénitales cardiaques et la densité/la proximité de puits, et la seconde ne présente pas de variations des taux de cancer chez les enfants avant et après la fracturation hydraulique.

Les risques pour la santé associés à l'exposition aux polluants de l'air émis lors des activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures au Québec peuvent être estimés à partir d'études épidémiologiques concernant les effets des polluants de l'air sur la santé, études effectuées surtout

en milieu urbain, si des estimations de l'exposition de la population sont disponibles dans le cadre des activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures.

Étant donné la présence simultanée de plusieurs composés lors des activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures, les estimations de risques pour la santé nécessiteront que des approches soient élaborées pour que l'effet cumulé de l'ensemble des composés émis dans l'air lors des activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures soit considéré.

Afin de limiter les risques pour la santé associés aux polluants de l'air émis lors des activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures, la piste de solution suivante est proposée : il faudrait s'assurer que les sites sont éloignés des milieux de vie des populations (résidences, écoles, etc.).

6.4 Effets des urgences associées à l'exploration et à l'exploitation des hydrocarbures pétroliers sur la santé de la population

Cette section porte sur les urgences de santé publique associées aux activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures pétroliers. Il apparaissait essentiel d'examiner de telles situations étant donné que les autorités de santé publique du Québec ont la responsabilité, en vertu d'un mandat légal défini par la Loi sur la santé publique et la Loi sur les services de santé et les services sociaux, de protéger la santé de la population en cas de menace, réelle ou appréhendée, pour la santé de la population. L'application de mesures de prévention et de préparation appropriées nécessite d'abord une identification des dangers que peuvent représenter l'exploration et l'exploitation des hydrocarbures pétroliers et les répercussions potentielles de ces dangers sur la santé de la population. Les aspects relatifs à la sécurité et à la santé des travailleurs ne sont pas abordés ici, puisqu'ils sont présentés au chapitre 7.

Ainsi, les principaux aspects traités dans le présent chapitre concernant l'exploration et l'exploitation des hydrocarbures pétroliers, en milieu terrestre et marin, sont les suivants :

- les accidents qui sont susceptibles de se produire ainsi que leurs effets potentiels sur la santé de la population;
- les principales pistes de solution pour la gestion des risques en santé publique afin de protéger la santé de la population lors d'accidents;
- les connaissances à acquérir en lien avec les urgences de santé publique.

La recherche documentaire a permis de rassembler une abondante littérature sur les impacts sanitaires découlant d'événements accidentels entraînant une contamination de l'environnement par les hydrocarbures, notamment en milieu marin. Par exemple, le naufrage du pétrolier Exxon Valdez et l'explosion de la plateforme pétrolière exploitée par l'entreprise BP, qui sont entre autres choses à l'origine du déversement de millions de litres de pétrole brut dans l'environnement, témoignent bien de cette contamination environnementale.

Cependant, peu d'études relevées lors de la recherche générale se sont penchées sur les effets d'une exposition accidentelle aiguë sur la santé de la population. La plupart de ces études ont été réalisées chez des populations résidant dans des zones côtières touchées par des marées noires.

L'absence de répertoire officiel centralisé sur les accidents reliés aux hydrocarbures aux États-Unis et au Canada rend laborieuses leur étude et la détermination des causes de ces accidents.

6.4.1 ÉVÉNEMENTS ACCIDENTELS SUSCEPTIBLES DE SURVENIR

Diverses études traitant des répercussions sur la santé humaine des déversements et des fuites de pétrole brut et de substances chimiques en milieu marin et terrestre ont permis de noter que les travailleurs, la population située à proximité et les premiers répondants sont les sujets les plus à risque de subir une exposition notable à des contaminants dont les effets sur la santé sont peu documentés (D'Andrea et Reddy, 2014; Eykelbosh, 2014).

La consultation des documents retenus a permis de constater que divers événements accidentels peuvent se produire au cours des activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures pétroliers : explosions, incendies, fuites et déversements qui entraînent la contamination de l'environnement – eau, air ambiant, sols et sédiments – non seulement par du pétrole brut, mais aussi par d'autres produits chimiques utilisés et rejetés lors des activités de fracturation hydraulique, émis lors d'un incendie, etc. (Furchtgott-Roth et Green, 2013; O'Rourke et Connolly, 2003; GENIVAR, 2013).

Les causes répertoriées étant à l'origine des événements accidentels sont nombreuses et variées : les incendies et les explosions peuvent être causés par une éruption de puits; une surpression de gaz; une fuite ou rupture de pipeline et l'ignition de matériel inflammable lors de l'entreposage, du transbordement ou du transport des hydrocarbures. Des fuites et des déversements peuvent se produire lors d'accidents routiers et ferroviaires de même que lors de bris de valves, de l'utilisation d'équipement mal ajusté, de la disposition inappropriée de déchets et d'erreurs humaines (GENIVAR, 2013). Il faut aussi mentionner que des conditions environnementales naturelles (ex. : tempêtes, vents violents, glaces flottantes, vague scélérate, inondations, feux de forêt) peuvent aussi causer ou aggraver des événements accidentels (Cruz et Krausmann, 2009; Sengul, Santella, Steinberg et Cruz, 2012; GENIVAR, 2013). En milieu extracôtier, les accidents susceptibles de se produire surviennent principalement lors de l'extraction des hydrocarbures ou lors de leur transport des plateformes de forage au continent. Des déversements majeurs peuvent impliquer les pétroliers, les vraquiers, les barges et les plateformes de forage lors de collisions. Aussi, des déversements importants peuvent impliquer les pétroliers, les vraquiers et les barges lors d'échouements (O'Rourke et Connolly, 2003; Eykelbosh, 2014; D'Andrea et Reddy, 2014).

6.4.1.1 Sites fixes

La plupart des déversements répertoriés se produisent dans des installations portuaires. D'autres, généralement de moindre importance, surviennent lors des activités de triage dans des installations ferroviaires (Transports Canada, 2014). Aussi, des déversements majeurs ont lieu sur des plateformes extracôtières où les risques d'incendies et d'explosions de même que les bris de structures ne sont pas négligeables et où la gestion de la sécurité est complexifiée par la présence d'un grand nombre de sous-traitants spécialisés (De Marcellis-Warin, Trépanier et Peignier, 2013).

Par exemple, l'enquête sur l'explosion de la plateforme pétrolière Deepwater Horizon le 20 avril 2010 a démontré de graves lacunes dans la rédaction et la mise en œuvre du plan d'urgence de l'entreprise britannique BP (National Commission on the BP Deepwater Horizon Oil Spill and Offshore Drilling, 2011; GENIVAR, 2013). Plus de 680 000 tonnes de pétrole se sont répandues dans le golfe du Mexique, contaminant 970 kilomètres de côtes et exposant les populations de ces régions à des émanations de produits toxiques.

6.4.1.2 Transport

Quels que soient les modes de transport utilisés (routier, ferroviaire, maritime et pipeline), les accidents reliés aux matières dangereuses, incluant le pétrole, surviennent deux fois plus souvent lors du chargement et du déchargement aux installations de transport que pendant le transport lui-même (Transports Canada, 2014; De Marcellis-Warin, Trépanier et Peignier, 2013).

L'absence de bases de données complètes (répartition de la population vulnérable, proximité des voies de transport, produits transportés, fréquence d'utilisation) à ce sujet rend impossible une évaluation du risque, mais on peut retenir que, peu importe les moyens de transport employés, les sites de transbordement sont souvent situés dans les villes (gares de triage, ports) et que les rails et les autoroutes les traversent. On ne peut pas exclure le risque d'exposition de la population lors d'accidents, et les conséquences de tels événements peuvent être désastreuses comme l'a démontré la tragédie survenue à Lac-Mégantic en 2013 – 47 décès et 2 000 personnes évacuées (Bureau de la sécurité des transports du Canada [BST], 2014).

Une récente publication (De Marcellis-Warin, Trépanier et Peignier, 2013) suggère par ailleurs que les entreprises sous-traitent fréquemment une partie de leurs activités reliées à la distribution des matières dangereuses, particulièrement pour le transport et la manutention, et que la gestion des risques semble plutôt constituer un défi pour les petites entreprises de transport ou pour celles qui transportent peu souvent des matières dangereuses.

Selon des données recueillies par le Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration (PHMSA) du département américain des transports, la répartition du transport des hydrocarbures (pétrole et gaz) aux États-Unis s'effectue comme suit : 70 % par pipeline, 23 % par navire, 4 % par la route et 3 % par train (Furchtgott-Roth et Green, 2013). Chaque moyen de transport présente des particularités et un degré de risque qui lui est propre. Par ailleurs, des données du PHMSA sur des accidents survenus lors du transport d'hydrocarbures gaziers et pétroliers au cours de la période de 2005 à 2009 montrent que le nombre d'accidents ainsi que le taux de blessure et de décès, pour les travailleurs et la population, reliés au transport par rail et par la route sont plus élevés (soit respectivement 40 fois plus élevés pour le transport par rail et 140 fois plus élevés pour le transport par la route) que ceux associés au transport par pipeline (Furchtgott-Roth et Green, 2013). Toutefois, cela n'exclut pas la possibilité de fuites majeures comme celle de 843 000 gallons (environ 3,2 millions de litres) d'hydrocarbures dans la rivière Kalamazoo au Michigan lors du bris du pipeline d'Enbridge en 2010 (Brody *et al.* 2012; U.S. Environmental Protection Agency, 2010), pouvant exposer la population avoisinante. Il faut rappeler que le Canada compte 70 000 km de pipelines transfrontaliers et une étendue de 760 000 km dont la responsabilité relève des provinces.

Le transport maritime s'effectue par des superpétroliers (jusqu'à 150 000 tonnes), des vraquiers et des barges dont les réservoirs peuvent dépasser les 700 tonnes, quantité qui caractérise les déversements majeurs. La Garde côtière canadienne assure le nettoyage lors d'un déversement d'hydrocarbures dans les eaux canadiennes, mais sa capacité d'intervention est actuellement considérée comme inadéquate dans le cas d'un accident majeur (Bureau du vérificateur général du Canada, 2010). Dans ce contexte, lors d'un tel déversement, la population des régions côtières risque fortement d'être exposée (D'Andrea et Reddy, 2014; Eykelbosh, 2014).

Le pétrole brut, l'essence et le mazout représentent 77 % de toutes les marchandises dangereuses transportées par la route. En 2013, il y a eu 400 accidents mettant en cause des marchandises dangereuses et pouvant impliquer des citoyens. Il s'agit d'une augmentation de 13 % par rapport à la moyenne sur 5 ans (2009-2013), et près de 91 % de ces accidents mettaient en cause des matières

de classe 3 – liquides inflammables constitués principalement d'hydrocarbures (Transports Canada, 2014).

Les accidents récents de Lac-Mégantic et de Gainford en Alberta, située à moins de 80 kilomètres d'Edmonton, suscitent des inquiétudes en regard de la sécurité, puisque les rails passent généralement à travers des zones densément peuplées. Le transport ferroviaire du pétrole brut a augmenté au cours de la période de 2008 à 2013 aux États-Unis – 40 fois plus important en 2013. Au Canada, l'Association canadienne des producteurs pétroliers (ACPP) prévoit une augmentation pour la période de 2013 à 2016 – le transport sera 35 fois plus important en 2016 (ACPP, 2014). Par ailleurs, le BST a récemment conclu que certaines sociétés exploitant des trains ne signalaient pas toujours ou dans les temps requis les accidents ferroviaires, que leur culture de sécurité était faible et que la surveillance des autorités s'avérait insuffisante, ce qui est susceptible de compromettre la capacité de ces entreprises à gérer les risques (BST, 2014). Les accidents cités précédemment soulèvent de nombreuses questions quant à la gestion des risques rattachés au transport des produits pétroliers en zones urbanisées et à la capacité des municipalités à y faire face.

6.4.2 IDENTIFICATION DES RISQUES POTENTIELS POUR LA SANTÉ DE LA POPULATION

En plus des décès survenus lors des incendies et des explosions impliquant des hydrocarbures, une exposition à des émanations de produits toxiques provenant non seulement du pétrole lui-même – hydrocarbures pétroliers, benzène, toluène, éthylbenzène, xylènes et sulfure d'hydrogène (H₂S) –, mais aussi des dispersants utilisés et des contaminants résultant des incendies – HAP, dioxines et furannes (D'Andrea et Reddy, 2014; Major et Wang, 2012; Galvez-Cloutier, Guesdon et Fonchain, 2014) peut se produire. Peu d'études concernant les effets aigus de ces contaminants sur la population ont cependant été réalisées, car relativement peu de déversements ont eu lieu à proximité de zones densément peuplées (Eykelbosh, 2014; D'Andrea et Reddy, 2014).

Les trois voies possibles d'exposition aux produits toxiques lors d'un accident (incendie, explosion, fuite et déversement) sont l'inhalation, l'ingestion et l'absorption cutanée. Les effets dépendent du type de produit déversé et de la durée de l'exposition. Les symptômes possibles, étudiés surtout chez des populations riveraines, comprennent notamment des céphalées; de l'irritation aux yeux, à la gorge, à la peau et aux voies respiratoires; de l'irritabilité; de la fièvre; de la fatigue; des nausées et des vomissements. On indique que la plupart de ces symptômes (97 %) disparaissent en moins d'une semaine chez les personnes ne participant pas aux travaux de nettoyage. Récemment, des anomalies hématologiques, hépatiques, rénales, respiratoires de même que de certaines fonctions neurologiques ont aussi été notées au sein des populations exposées et chez les travailleurs (Eykelbosh, 2014; D'Andrea et Reddy, 2014). Les effets psychosociaux demeurent prépondérants et perdurent longtemps chez les personnes exposées et au sein des communautés touchées.

Bien que certaines fractions de produits pétroliers soient reconnues comme étant cancérigènes, la probabilité de tels effets demeure faible dans le contexte d'accidents et d'expositions aigus, puisque la durée d'exposition est généralement courte.

6.4.3 PISTES DE SOLUTION POUR LA GESTION DES RISQUES DE SANTÉ PUBLIQUE

Les auteurs de la présente section ont considéré les principales options de gestion des risques sous l'angle de la protection de la santé de la population. Ont été retenues ici surtout les grandes pistes des différentes options, compte tenu de l'échéancier relativement court. Ces options de gestion s'appliquent globalement, tant à l'industrie des hydrocarbures pétroliers qu'au transport de ces différents produits.

Parmi les facteurs contributifs déterminés lors d'enquêtes sur des accidents dans lesquels les hydrocarbures ou le pétrole sont impliqués, on trouve fréquemment une culture de la sécurité déficiente dans l'entreprise, une gestion des risques inefficace, une formation inadéquate des travailleurs, un mauvais entretien des équipements et une surveillance inefficace par les organismes responsables des diverses réglementations, comme cela a été démontré à la suite de l'explosion de la plateforme pétrolière Deepwater Horizon et du déraillement ferroviaire de Lac-Mégantic.

À cet égard, les auteurs de l'*Évaluation environnementale stratégique sur la mise en valeur des hydrocarbures dans les bassins d'Anticosti, de Madeleine et de la baie des Chaleurs – ÉES2* (GENIVAR, 2013) soulignent l'importance de tenir compte des accidents antérieurs, notamment de celui survenu sur la plateforme Deepwater Horizon, afin d'en tirer des leçons pour le Québec.

Ces mêmes auteurs (de l'ÉES2) relèvent également la déficience de l'actuelle capacité d'intervention d'urgence en cas de déversements majeurs de même que plusieurs lacunes dans les données disponibles sur les technologies utilisées et dans les connaissances scientifiques, notamment sur le milieu humain. De plus, ils ajoutent que l'absence d'une loi sur les hydrocarbures au Québec entraîne, entre autres, un encadrement inadéquat des activités d'exploration et d'exploitation, notamment en ce qui a trait aux aspects scientifiques et aux procédures d'urgence.

Plusieurs auteurs ainsi que plusieurs organismes québécois et canadiens (AGSMD, 2013; GENIVAR, 2013; Transports Canada, 2014; ONE, 2014) ont émis des recommandations pour améliorer la prévention, la préparation aux urgences et l'intervention à la suite d'accidents reliés à la gestion des matières dangereuses, particulièrement dans le cas de la filière des hydrocarbures.

Parmi les principales options de gestion des risques proposées par ces divers organismes, il faut mentionner celles retenues par les auteurs de l'ÉES2 :

- Un cadre légal pour régir les activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures au Québec et pour favoriser la transparence lors du processus d'examen et de mise en œuvre des projets.
- Une capacité d'intervention adéquate en cas d'événements accidentels se traduisant, entre autres choses, par le renforcement du cadre de référence en matière de prévention et d'intervention en cas de déversements accidentels, la mise à jour du *Plan national de sécurité civile* au Québec et l'établissement de plans de mesures d'urgence avec les communautés.
- Un niveau élevé de collaboration interprovinciale, notamment par une gestion et une approche intégrées du territoire du golfe du Saint-Laurent réalisées par les provinces concernées.

À l'instar d'autres organismes impliqués dans la gestion des risques (Ricard, 2003; Ministère de la Sécurité publique [MSP], 2008a, 2008b), les auteurs de l'ÉES2 prônent d'abord la préparation et la prévention des accidents suivies de la mise en place d'outils et de procédures efficaces en cas d'accident, puis des activités qui concernent le rétablissement éventuel d'une communauté qui serait touchée par un accident. Les différents organismes impliqués rappellent l'importance de la communication des risques à la population à toutes les étapes du processus de gestion des risques et favorisent la collaboration active de tous les acteurs impliqués, tant au niveau de la population et de l'entreprise que des partenaires municipaux et des organismes gouvernementaux concernés.

Du point de vue des pratiques internationales recommandées en lien avec la gestion des risques et la protection de la santé publique, il faut mentionner la norme ISO 31000 (International Standard Organisation [ISO], 2009) et, plus spécialement, les travaux de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE, 2003, 2008a, 2008b, 2012), qui s'adressent particulièrement

aux industries chimiques, pétrolières et gazières. À titre de rappel, le Canada fait partie de l'OCDE et, par le fait même, devrait adhérer aux principes et aux options de gestion des risques qui sont inscrits dans les documents de l'OCDE.

Parmi les éléments essentiels de la gouvernance d'entreprise en ce qui a trait à la sécurité des procédés, l'OCDE mentionne le leadership et la culture de sécurité, la connaissance des risques, l'information (incluant les données sur la sécurité, les systèmes de surveillance, le partage des expériences et des enseignements, etc.), les compétences (formation, etc.) et l'action (coordination et pilotage de programmes de suivis actifs).

Quant aux pouvoirs publics, l'OCDE considère qu'ils sont principalement responsables de s'assurer de la mise en œuvre des aspects essentiels suivants : l'organisation interne et l'élaboration de politiques, le respect du cadre légal et l'établissement de lois, de règlements et de normes (incluant l'aménagement du territoire), la coopération externe (autorités concernées, industries, autres parties prenantes non gouvernementales, collectivités), la planification et la préparation aux urgences, l'intervention d'urgence et l'atténuation des effets ainsi que l'établissement de systèmes permettant de recueillir des renseignements relatifs à la sécurité (rapports, enquêtes, etc.). L'OCDE attribue également certaines responsabilités au personnel d'intervention d'urgence et aux collectivités potentiellement à risque de subir un accident.

Enfin, il faut rappeler qu'au Canada et au Québec plusieurs grands organismes publics proposent déjà des outils ou des cadres de gestion des risques d'accidents ou de sinistres (MSP, 2008b; Transports Canada, 2014; ONE, 2014; Environnement Canada et Santé Canada, 2014). Ces outils proposent, en général, des pistes de gestion des risques suivant celles de l'OCDE.

Différentes options de gestion des risques existent et peuvent contribuer à la protection de la santé de la population. Ainsi, avant d'entreprendre de nouvelles activités reliées à l'industrie des hydrocarbures pétroliers au Québec, les autorités gouvernementales devront s'assurer de la mise en œuvre des diverses options de gestion afin de protéger la santé d'une population donnée susceptible d'être exposée aux conséquences d'un accident mettant en cause du pétrole ou des hydrocarbures.

6.4.4 CONSTATS PRÉLIMINAIRES SUR LES URGENCES DE SANTÉ PUBLIQUE

- En cas de déversements accidentels de même que de fuites d'hydrocarbures pétroliers et de substances chimiques, les travailleurs, la population à proximité et les premiers répondants sont les personnes les plus à risque de subir les importantes répercussions potentielles d'une exposition dont les effets sur la santé sont peu documentés.
- Divers événements accidentels peuvent se produire lors des activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures pétroliers : explosions, incendies, fuites et déversements. Ces événements entraînent la contamination de l'environnement (eau, air ambiant, sols et sédiments) par du pétrole brut, mais aussi par d'autres produits chimiques (ex. : ceux utilisés et rejetés lors de la fracturation hydraulique, émis lors d'un incendie, etc.).
- Parmi les facteurs contributifs déterminés lors d'enquêtes sur des accidents, on trouve fréquemment une culture de la sécurité déficiente dans l'entreprise, une gestion des risques inefficace, une formation inadéquate des travailleurs, un mauvais entretien des équipements et une surveillance inefficace réalisée par les organismes responsables des diverses réglementations.

- La plupart des déversements répertoriés dans les sites fixes se produisent dans des installations portuaires. D'autres, généralement de moindre importance, surviennent lors des activités de triage dans les installations ferroviaires.
- Des déversements majeurs ont lieu sur les plateformes extracôtières où les risques d'incendies et d'explosions de même que les bris de structures ne sont pas négligeables et où la gestion de la sécurité est complexifiée par la présence d'un grand nombre de sous-traitants spécialisés. Des déversements importants peuvent aussi impliquer des pétroliers, des vraquiers et des barges lors d'échouements et de collisions de même que des trains lors de déraillements.
- Quels que soient les modes de transport employés (routier, ferroviaire, maritime et pipeline), les accidents reliés aux matières dangereuses, incluant le pétrole, surviennent deux fois plus souvent lors du chargement et du déchargement aux installations de transport que pendant le transport lui-même.
- En plus des décès lors des incendies et des explosions impliquant des hydrocarbures, la population située à proximité se verrait exposée à des émanations de produits toxiques provenant non seulement du pétrole lui-même – hydrocarbures pétroliers, benzène, toluène, éthylbenzène, xylènes et H₂S –, mais aussi des dispersants utilisés et des contaminants résultant des incendies (HAP, dioxines, furannes). Peu d'études ont été réalisées concernant les effets aigus de ces contaminants sur la population, car relativement peu de déversements se sont produits à proximité de zones densément peuplées.
- Les trois voies possibles d'exposition aux produits toxiques lors d'un accident (incendie, explosion, fuite et déversement) sont l'inhalation, l'ingestion et l'absorption cutanée. Les effets dépendent du type de produit déversé et de la durée de l'exposition. Les symptômes possibles, étudiés surtout chez des populations riveraines, comprennent notamment des céphalées; de l'irritation aux yeux, à la gorge, à la peau et aux voies respiratoires; de l'irritabilité; de la fièvre; de la fatigue; des nausées et des vomissements. On indique que la plupart de ces symptômes disparaissent en moins d'une semaine chez les personnes ne participant pas aux travaux de nettoyage. Récemment, des anomalies hématologiques, hépatiques, rénales, respiratoires de même que de certaines fonctions neurologiques ont aussi été notées au sein des populations exposées et chez les travailleurs. Les effets psychosociaux demeurent prépondérants et perdurent longtemps chez les personnes exposées et au sein des communautés touchées.
- Bien que certaines fractions de produits pétroliers soient reconnues comme étant cancérigènes, la durée d'exposition étant généralement courte, la probabilité de tels effets demeure faible dans le contexte d'accidents et d'expositions aigus.

6.4.5 CONNAISSANCES À ACQUÉRIR

L'évaluation et la gestion des impacts sanitaires potentiels reliés à l'exploration et à l'exploitation pétrolière doivent nécessairement prendre en compte l'exposition possible de la population aux matières dangereuses qui sont entreposées et transportées dans le cadre des opérations de l'industrie pétrolière. À cet égard, plusieurs aspects concernant les risques pour la santé lors de situations d'urgence en lien avec l'exploration et l'exploitation de pétrole demeurent à documenter par l'entreprise ou par les autorités gouvernementales responsables, entre autres :

1. En ce qui a trait à la présence et à la nature des matières dangereuses sur un territoire donné de même qu'à l'exposition de la population aux matières dangereuses manutentionnées, entreposées et transportées sur ce territoire :
 - obtenir une liste exhaustive des matières dangereuses et des quantités qui seront manipulées (tout particulièrement lors des chargements et des déchargements dans les sites de transbordement), entreposées et transportées;
 - connaître le volume et la durée des activités;
 - localiser les principales infrastructures d'entreposage (sites fixes) et de transport (routier, ferroviaire, portuaire, pipeline);
 - caractériser les populations humaines susceptibles d'être exposées;
 - documenter la distance entre les populations humaines susceptibles d'être exposées et : les sites d'exploration et de production de pétrole, les sites d'entreposage de matières dangereuses et les infrastructures de transport (incluant les routes empruntées).
 - recueillir de l'information provenant des transporteurs sur les trajets utilisés;
 - se procurer les plans de mesures d'urgence élaborés et être au fait de la réelle capacité des petites municipalités de les mettre en œuvre.
2. Pour ce qui est des événements accidentels et de leurs impacts potentiels sur la santé humaine :
 - documenter la probabilité de survenue d'événements accidentels;
 - rassembler les données descriptives ou les rapports d'enquête sur les événements accidentels survenus antérieurement (fréquence, types, circonstances d'exposition, principaux effets sanitaires à appréhender, etc.);
 - obtenir des données sur les principaux scénarios d'accidents (modélisations, etc.);
 - documenter les principaux impacts potentiels des événements accidentels, impliquant des matières dangereuses, sur l'environnement et la santé humaine, notamment par une recension des écrits.
3. En ce qui concerne la gestion des risques reliés aux événements accidentels :
 - effectuer une analyse des lois, des règlements et des normes encadrant présentement les urgences et les sinistres;
 - réaliser une recension des écrits portant sur l'évaluation de la mise en application de différentes options de gestion des risques et sur leur capacité à les réduire;
 - faire une recension des écrits sur la communication et la perception des risques d'accidents et des risques pour la santé.

7 Enjeux relatifs à la santé des travailleurs

La recherche documentaire a permis de trouver un certain nombre d'articles ou de rapports concernant les risques pour la santé et la sécurité liés à l'exploitation des hydrocarbures en milieu marin; ce n'est pas le cas pour l'extraction des hydrocarbures par fracturation hydraulique horizontale, puisque ce type d'activité est relativement récent. Il faut noter que, vu le court délai alloué à la rédaction de cette revue, un recensement exhaustif des écrits sur la question des risques professionnels inhérents aux activités d'extraction des hydrocarbures n'était pas possible.

7.1 Introduction

Les travailleurs de l'industrie pétrolière, qu'il s'agisse de ceux œuvrant dans l'exploitation des hydrocarbures en milieu marin ou en milieu terrestre, font face à une gamme de facteurs de risque, qui mettent en danger leur santé et leur sécurité.

Dans un document réalisé en 2013 par une firme de consultants pour le compte de l'industrie gazière et pétrolière, Chauhan répertorie les principaux risques pour la santé et la sécurité touchant les travailleurs de cette industrie, sans égard au milieu d'exploitation. Elle cite notamment :

- les risques chimiques (produits toxiques, corrosifs, irritants, sensibilisants, asphyxiants et cancérigènes);
- les risques physiques (bruit, vibrations, radiations et extrêmes de température);
- les risques biologiques (légiionellose, intoxication alimentaire);
- les risques ergonomiques (manutention, travail répétitif et postures de travail);
- les risques psychosociaux (surcharge, horaires de travail, travail en régions éloignées);
- les risques pour la sécurité (accidents de véhicules, explosion ou incendie, chutes, blessures de contact et espaces confinés).

Witter, Tenney, Clark et Newman (2014) rapportent que, pour la période de 2005 à 2009, le taux de mortalité chez les travailleurs de l'industrie pétrolière aux États-Unis était deux fois et demie supérieur à celui des travailleurs de l'industrie de la construction et sept fois supérieur à celui des travailleurs de l'ensemble des secteurs industriels. Les principales causes de mortalité sont : les accidents de véhicules (29,3 %) lors du transport des hydrocarbures et le fait d'être heurté par des objets (20,1 %). Paradoxalement, le taux de blessure ou de traumatisme dans l'industrie pétrolière est plus bas que celui de l'industrie de la construction. Les auteurs mentionnés ci-dessus attribuent cela à une sous-déclaration.

Il faut mentionner que le National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) considère qu'il existe actuellement peu de données publiées sur les risques potentiels pouvant affecter la santé des travailleurs du secteur de l'extraction pétrolière et gazière, et qu'il est nécessaire d'entreprendre plus de recherches dans ce secteur afin de dresser un inventaire exhaustif des produits utilisés et de mieux caractériser et surveiller l'exposition professionnelle (NIOSH, 2012).

7.2 État de situation

7.2.1 EXPLOITATION DES HYDROCARBURES EN MILIEU MARIN

L'exploitation des hydrocarbures en milieu marin a débuté dans les années 1940 et a connu une forte expansion durant les années 1970. Les premières études sur les risques pour la santé et la sécurité des travailleurs œuvrant dans ce type d'industrie ont été publiées dans les années 1970 et les années 1980 (Rodrigues, Fischer et Brito, 2001). Elles ont été effectuées auprès de travailleurs de plateformes de forage en mer du Nord, dans le golfe du Mexique et au large des côtes du Brésil, entre autres.

Dans une recension de la littérature, Gardner (2003) mentionne que tous les risques pour la santé présents dans les secteurs industriels se trouvent également dans l'industrie de l'exploitation des hydrocarbures en milieu marin. Qu'il s'agisse de risques chimiques, physiques, biologiques, ergonomiques ou psychosociaux, ces risques sont pratiquement les mêmes que ceux reconnus par le Bureau international du Travail depuis plus d'une vingtaine d'années pour ce secteur industriel. Il considère cependant que l'approche adoptée en santé et en sécurité du travail sur les plateformes en milieu marin est orientée principalement afin répondre aux impératifs d'un travail réalisé dans un environnement distant et difficile (mer du Nord par exemple), où l'accent est surtout mis sur les risques pour la sécurité et les interventions en situation d'urgence, les risques pour la santé et les maladies qui en découlent étant moins ciblés. Cela explique la rareté des données sur l'exposition aux risques pour la santé et sur leurs effets à long terme.

7.2.1.1 Caractérisation des risques

Selon Ross, Saleem et Whiteley (2001), plus de 90 % des produits chimiques trouvés sur les plateformes de forage en haute mer sont utilisés sous forme de fluides de forage. Ces fluides sont des mélanges complexes conçus pour avoir des propriétés spécifiques selon les conditions de forage. Les aérosols (vapeurs et brouillards) générés par l'utilisation des fluides sont associés à un certain nombre d'effets sur la santé des travailleurs comme l'irritation des yeux et des voies respiratoires. En outre, le contact de la peau avec des boues de forage et leurs composantes est associé à des cas de dermatite.

Gardner (2003) recense les principaux risques pour la santé des travailleurs reliés à l'exploitation pétrolière en milieu marin au Royaume-Uni. Il mentionne, entre autres, l'exposition au benzène, à divers produits chimiques qui constituent les boues de forage de même qu'au bruit et aux vibrations. Cependant, à part quelques évaluations des niveaux d'exposition au benzène, composant naturel du pétrole, l'exposition aux autres risques n'a pas été quantifiée. Cet auteur note que l'usage d'outils vibrants, comme des meuleuses, des pistolets à aiguilles, des perceuses pneumatiques ou des marteaux-burineurs, semble très répandu sur les plateformes, et que les troubles musculo-squelettiques et les risques psychosociaux associés aux conditions de travail (surcharge, durée des quarts, éloignement, etc.) sont de plus en plus considérés lors des interventions de prévention dans le secteur de l'exploitation des hydrocarbures.

Steinsvag, Bratveit et Moen (2007) ont décrit l'exposition des travailleurs norvégiens de l'industrie pétrolière maritime à certains agents cancérigènes durant les années 1970 à 2005. Parmi ces expositions, celle au benzène issu du pétrole et aux brouillards d'huile minérale émanant des boues de forage semblait la plus importante. Les chercheurs concluent qu'il est nécessaire de mettre en place une surveillance plus systématique de l'exposition aux agents cancérigènes dans ce secteur industriel.

Quant à l'Occupational Safety and Health Administration (OSHA), elle considère que l'exposition au sulfure d'hydrogène, à la silice, aux matières particulaires de diesel, aux matériaux radioactifs d'origine naturelle (radionucléides) et aux extrêmes de température constitue un risque pour la santé (OSHA, 2014).

Dans leur article, Niven et McLeaod (2009) ont passé en revue les risques inhérents à l'industrie de l'exploitation pétrolière maritime au Royaume-Uni. Ils constatent que, dans une industrie perçue comme ayant peu changé au cours des trois dernières décennies, il y a peu d'articles concernant les risques pour la santé et la sécurité, qui ont été publiés dans la littérature scientifique. À l'instar de Gardner (2003), ils constatent que les recherches actuelles dans ce secteur d'activités se concentrent sur les troubles musculo-squelettiques et le stress au travail. Ce constat est repris également par Bjerkan (2011) pour ce qui est des travailleurs norvégiens du pétrole.

En ce qui a trait aux autres problèmes de santé chroniques, quelques études épidémiologiques révèlent des excès de cas de cancer chez les travailleurs de l'industrie pétrolière maritime. Ainsi, Gardner (2003) rapporte des excès de cas de leucémie, probablement associés à l'exposition au benzène, et des excès de cas de mélanome malin dus à l'exposition aux rayons ultraviolets. Kirkeleit, Riise, Bratveit et Moen (2008) parlent de risque accru de leucémie myéloïde aiguë et de myélome multiple, et, dans une autre étude, les mêmes auteurs rapportent un excès de risque d'adénocarcinome de l'œsophage chez les travailleurs masculins en contact avec le pétrole brut (Kirkeleit *et al.*, 2010).

Enfin, la documentation consultée a mis en évidence un certain nombre d'articles où l'on traite des aspects psychosociaux liés aux contraintes du travail sur des plateformes en haute mer, par exemple :

- l'association entre le stress au travail et certaines habitudes de vie (tabagisme, consommation d'alcool et inactivité physique);
- l'association entre le sommeil et la sécurité;
- les effets psychosociaux liés aux changements d'horaires de travail et au travail de nuit;
- l'impact du stress et d'autres facteurs psychosociaux sur les douleurs musculo-squelettiques;
- l'influence du stress au travail sur la santé mentale.

7.2.2 EXPLOITATION DES HYDROCARBURES EN MILIEU TERRESTRE

Selon Goldstein *et al.* (2014), comme le procédé d'extraction des hydrocarbures par fracturation hydraulique est relativement récent, il y aurait très peu de données sur la caractérisation des risques toxicologiques associés à ce procédé, et aucune étude épidémiologique publiée concernant les travailleurs de ce secteur.

Esswein, Breitenstein, Snawder, Kiefer et Sieber (2013) estiment qu'il y aurait des lacunes dans les connaissances en ce qui a trait aux risques pour la santé engendrés par les opérations de fracturation hydraulique. Ces lacunes se situent au niveau de la détermination des emplois à risque, de la quantification des expositions et de la compréhension de la contribution de chaque voie d'absorption à l'exposition dans son ensemble.

7.2.2.1 Caractérisation des risques

Aux États-Unis, le NIOSH s'est penché sur les risques pour la santé et la sécurité des travailleurs œuvrant dans l'extraction non conventionnelle du pétrole. Selon les études effectuées par cet organisme, l'exposition à la silice cristalline (utilisée comme agent de soutènement dans les fluides de fracturation) constitue un risque significativement important pour la santé des travailleurs, puisque les niveaux d'exposition observés lors de ces activités d'extraction sont souvent au-dessus des normes. En effet, le NIOSH a effectué 111 prélèvements sur 11 sites dans 5 États américains afin d'évaluer l'exposition des travailleurs à la silice cristalline lors de l'extraction du pétrole par fracturation hydraulique. Pour l'ensemble des sites, les résultats des échantillons prélevés, couvrant un quart de travail complet, dépassaient les valeurs limites d'exposition réglementaires ou recommandées aux États-Unis. Dans certains cas, ce dépassement était 10 fois ou plus supérieur aux valeurs limites. Sur la base de ces évaluations, le NIOSH estime que l'exposition à la silice cristalline représente un réel danger pour la santé des travailleurs œuvrant dans l'extraction du pétrole par fracturation hydraulique (Esswein, Breitenstein, Snawder, Kiefer et Sieber, 2013).

Il faut noter que le risque d'exposition à la silice s'étend également à des travailleurs indirectement liés aux activités d'exploitation des hydrocarbures en milieu terrestre. Par exemple, Rosenman (2014) mentionne qu'aux États-Unis l'augmentation des activités d'exploitation des hydrocarbures par fracturation hydraulique a entraîné une hausse de la demande de silice cristalline. Entre 2009 et 2012, les quantités de silice employées lors de la fracturation sont passées de 10 à 30 millions de tonnes. Selon lui, comme la silice est extraite des mines de surface, le nombre de travailleurs œuvrant dans l'extraction et la transformation de la silice s'est également accru, et ces nouveaux travailleurs courent donc un plus grand risque de développer des maladies liées à la silice.

Par ailleurs, l'OSHA et le NIOSH considèrent que l'exposition aux matières particulaires de diesel et aux autres gaz d'échappement, les extrêmes de température, le bruit intense, les troubles musculo-squelettiques et la fatigue due aux horaires de travail non conventionnels constituent des risques potentiels pour la santé dans l'industrie de l'exploitation des hydrocarbures (OSHA, 2012).

Tout en reconnaissant l'absence de données sur l'ampleur de l'exposition des travailleurs au bruit sur les sites de fracturation hydraulique, le NIOSH estime que les niveaux élevés de bruit sur ces sites représentent un risque important pour la santé auditive des travailleurs. Par contre, la littérature abonde de données sur les niveaux élevés de bruit dans les secteurs industriels ou miniers provenant, entre autres, de la machinerie lourde, des foreuses et des convoyeurs, tous des équipements bruyants que l'on peut aussi trouver sur les sites de fracturation hydraulique.

Korfmacher, Jones, Malone et Vinci (2013) estiment qu'en plus des risques traditionnels auxquels doivent faire face les travailleurs de l'industrie du pétrole et du gaz, peuvent s'ajouter des problèmes de santé associés aux procédés de fracturation hydraulique à haut volume. Ils citent notamment le risque d'exposition au mélange BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes) et, surtout, le risque d'exposition aux différents constituants chimiques des fluides de fracturation.

Les fluides de fracturation sont généralement composés à 98 % d'eau et de silice cristalline; le 2 % restant est constitué d'additifs chimiques. Ces additifs sont souvent utilisés sous forme de mélanges adaptés aux conditions du site pétrolier et de la géologie locale. Les mélanges employés sont considérés comme très toxiques, toutefois, les entreprises sont réticentes à divulguer leurs recettes afin de protéger leur avantage concurrentiel (Lian, 2014; Rosenman, 2014). À titre d'exemple, Esswein *et al.* (2014) mentionnent comme ingrédients de ces mélanges : des acides, des tensioactifs, des biocides, des inhibiteurs de tartre et de corrosion, des agents gélifiants et des agents de réticulation. McFeeley (2012) ajoute à cette liste le formaldéhyde, un cancérigène reconnu (CIRC,

2012) et un irritant des voies respiratoires. L'exposition à ces substances doit donc être prise en compte dans le processus d'évaluation du risque.

Par ailleurs, selon différentes sources, entre 20 et 60 % du volume de fluides de fracturation initialement injecté peut retourner à la surface du puits (Esswein *et al.*, 2014; Rosenman, 2014). Ce reflux, appelé *flowback fluids* en anglais, est composé d'hydrocarbures, d'eau et de sable (silice cristalline) injectés initialement, et de substances chimiques endogènes provenant de la formation géologique du réservoir exploité comme des sels minéraux, des métaux – arsenic, baryum, plomb et mercure – et des radionucléides – uranium, thorium et isotopes du radium (Esswein *et al.*, 2014; McFeeley, 2012). Les fluides sont récupérés afin d'en séparer les différents constituants. Ces derniers sont acheminés vers des réservoirs de stockage temporaires pour de futures utilisations.

Une exposition professionnelle survient lorsque les fluides de résurgence sont manipulés (séparation et stockage). Ainsi, Esswein *et al.* (2014) ont réalisé des échantillonnages de benzène durant des quarts de travail complets et au cours des opérations régulières d'extraction des hydrocarbures par fracturation hydraulique sur six sites où l'on trouve des bassins de stockage de fluides de résurgence. Le benzène a été retenu comme indicateur de l'exposition des travailleurs aux COV. Dans certains cas, les niveaux d'exposition au benzène dépassaient les valeurs limites d'exposition réglementaires ou recommandées aux États-Unis. Sur la base de cette évaluation, le NIOSH considère que l'élaboration et la mise en place de mesures de contrôle efficaces sont nécessaires pour limiter l'exposition professionnelle au benzène et aux autres COV lors des opérations de stockage et de manipulation des fluides de résurgence.

Gaz de schiste et risques professionnels

Compte tenu du court délai alloué, les auteurs du présent chapitre n'aborderont pas en détail les risques professionnels associés à l'exploitation des gaz de schiste. Toutefois, plusieurs risques liés à l'exploitation des hydrocarbures par fracturation hydraulique seraient également présents lors de l'extraction de gaz à l'aide du même procédé (Adgate, Goldstein et McKenzie, 2014).

Enfin, sans égard au milieu d'exploitation, le NIOSH et l'OSHA considèrent que le risque d'être heurté par des équipements mobiles et des outils; les accidents de véhicules; l'éclairage insuffisant; les chutes de hauteur; les incendies et les explosions; et le travail dans des espaces confinés constituent des risques potentiels pour la sécurité dans l'industrie de l'exploitation des hydrocarbures en général (OSHA, 2012).

Tableau 7 Exemples d'effets potentiels sur la santé des travailleurs, en lien avec les risques rapportés par les auteurs, lors de l'exploitation des hydrocarbures pétroliers

Risque	Effets potentiels
COV (benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes (BTEX, etc.))	Cancers (leucémie myéloïde aiguë), neurotoxicité et irritation des yeux
Boues et fluides de forage	Dermatite, irritation et inflammation des voies respiratoires
Matières particulaires de diesel	Irritation des yeux et des voies respiratoires supérieures (nez et gorge), maladies respiratoires, problèmes cardiovasculaires et cancer du poumon
Silice cristalline	Silicose et cancer du poumon
Sulfure d'hydrogène	Irritation du système respiratoire et cutané, œdème aigu du poumon, atteintes du système nerveux central
Radionucléides	L'exposition à long terme est associée à certaines formes de cancer
Bruit	Surdité professionnelle
Vibrations (outils vibrants)	Troubles musculo-squelettiques (syndrome de vibration mains-bras), troubles cardiovasculaires et neurologiques
Risques ergonomiques	Troubles musculo-squelettiques
Extrêmes de température	Coup de chaleur, engelures et hypothermie
Risques psychosociaux (surcharge de travail, stress, horaire de travail non conventionnel, etc.)	Troubles anxio-dépressifs, hypertension, problèmes cardiovasculaires, etc.

7.2.3 EXTRAPOLATION AU CONTEXTE QUÉBÉCOIS

Dans une optique d'implantation d'une industrie pétrolière au Québec, tous les risques mentionnés plus haut sont susceptibles de se trouver dans les milieux de travail québécois et, *a priori*, doivent être pris en compte par les décideurs pour ce qui est de la prévention.

Cependant, certains risques chimiques et physiques doivent être priorités à court terme, surtout ceux qui peuvent causer des atteintes irréversibles à la santé des travailleurs notamment, les substances cancérigènes comme le benzène, les matières particulaires de diesel, la silice (pneumoconiose), les radiations et le bruit intense (surdité).

Les données sur les lésions professionnelles au Québec révèlent que malgré une diminution du nombre de TMS liés au travail entre 1997 et 2012, la gravité de ces TMS en termes de jours d'absence n'a pas cessé d'augmenter, passant de 52 jours en 1997 à 78 jours en 2012. Pour la même période, les vibrations et les efforts excessifs ont occasionné des absences de respectivement 111 et 62 jours¹. Or, selon les références consultées précédemment, ces situations à risque (vibrations et efforts excessifs) sont fréquentes lors des activités d'exploitation des hydrocarbures, d'où l'importance de surveiller les TMS dans ce secteur.

¹ Infocentre de santé publique. Extrait à partir du *Fichier des lésions professionnelles* de la Commission de la santé et de la sécurité du travail. Novembre 2014.

En ce qui a trait aux risques psychosociaux liés aux contraintes du travail sur des plateformes maritimes, les données de la littérature à ce sujet doivent être analysées davantage. En effet, il faut déterminer si les conditions de travail en milieu marin au Québec seront similaires ou différentes de celles existant sur les plateformes norvégiennes ou anglaises situées en haute mer; par exemple, pour ce qui est des questions de rotation du travail, des quarts de travail non conventionnels et de l'isolement des travailleurs qui sont loin de leur foyer pour de longues périodes.

Enfin, en matière de sécurité, rien n'indique que les risques recensés (chutes, blessures, explosion, incendie, espaces confinés, etc.) ne s'appliquent pas au contexte québécois d'exploitation pétrolière. Dans le cas des accidents de véhicules lors du transport des hydrocarbures, comme il est mentionné précédemment, les études montrent que ces accidents sont la principale cause de décès chez les travailleurs du secteur. Ce risque doit donc être nécessairement pris en compte dans les politiques de prévention au Québec.

7.2.4 PROPOSITION DE PISTES D'OPTIONS DE GESTION DES RISQUES

Les recommandations concernant la surveillance des risques liés aux activités d'extraction des hydrocarbures en milieu marin ou terrestre sont émises à la lumière des écrits consultés et de l'expertise en matière de santé et de sécurité au travail.

Witter, Tenney, Clark et Newman (2014) estiment que pour surveiller et prévenir adéquatement les accidents et les maladies professionnels dans l'industrie de l'exploitation pétrolière, il faut procéder à une meilleure caractérisation des risques et entreprendre des recherches de solutions efficaces pour réduire et contrôler ces risques. De plus, connaître les caractéristiques des entreprises et de la main-d'œuvre permet l'implantation de politiques préventives adaptées. Par exemple, Witter, Tenney, Clark et Newman (2014) considèrent que les petites entreprises comportent davantage de risques de décès au travail et que ces risques sont plus élevés chez les nouveaux employés. Ils sont d'avis qu'une formation adéquate de la main-d'œuvre sur les méthodes de travail sécuritaires et l'instauration d'une culture préventive dans l'entreprise sont des facteurs essentiels dans la réduction de la mortalité sur les sites de travail.

Voici les quelques pistes qui peuvent être explorées :

- déterminer les instances responsables de la prévention dans ce secteur industriel;
- clarifier les rôles et les leviers légaux des intervenants en prévention et s'assurer que leur expertise pour évaluer les risques professionnels est adéquate;
- mettre en place un système de surveillance des accidents et des maladies professionnels afin :
 - d'analyser en profondeur les causes d'accidents de travail et de mesurer l'impact de certains facteurs de risque sur la santé des travailleurs,
 - d'orienter efficacement les interventions en prévention,
 - de remédier à la sous-déclaration des accidents et des maladies;
- documenter davantage les risques découlant des procédés, des méthodes de travail et des produits utilisés ainsi que les interventions efficaces visant à prévenir ces risques;
- rendre accessibles les informations sur les constituants des fluides de fracturation hydraulique;
- assurer une gestion sécuritaire des fluides de résurgence issus des opérations de fracturation hydraulique;

- instaurer une politique de sécurité pour la prévention des accidents de véhicules et des risques d'explosion et d'incendie;
- assurer la protection des travailleurs en évaluant l'efficacité des interventions réalisées dans l'industrie pour réduire l'exposition;
- mettre à jour les informations concernant les mesures de contrôle de l'exposition;
- surveiller l'exposition des travailleurs dans les industries connexes, par exemple, celles de l'extraction de la silice ou du ramassage de déchets industriels;
- promouvoir la collaboration entre l'industrie et les milieux universitaires pour la recherche de solutions.

8 Enjeux relatifs à la santé de la population associés à l'exploration et à l'exploitation des hydrocarbures gaziers

8.1 Introduction

Le portrait des principaux enjeux relatifs à la santé de la population générale (excluant donc les travailleurs de l'industrie gazière) en lien avec les hydrocarbures gaziers sera illustré à partir du résumé de la plus récente publication de l'INSPQ sur le sujet intitulée *État des connaissances sur la relation entre les activités liées au gaz de schiste et la santé publique – Mise à jour* (Brisson *et al.*, 2013). Comme son titre le suggère, cette publication est une mise à jour du rapport de l'INSPQ publié en 2010 portant sur l'état des connaissances sur les enjeux de santé publique relatifs à l'industrie du gaz de schiste (Brisson *et al.*, 2010).

La mise à jour du document a permis de mettre en évidence de nouvelles connaissances, publiées au cours de la période d'octobre 2010 à janvier 2013, sur les enjeux sanitaires reliés à l'industrie du gaz de schiste, de confirmer ou de nuancer certains éléments ou facteurs de risque soulevés en 2010 et de déceler des lacunes dans les connaissances scientifiques reliées à divers facteurs de risque pour la santé humaine. Ces connaissances sont résumées ci-dessous.

8.2 Connaissances recueillies sur les enjeux de santé publique en lien avec les activités reliées au gaz de schiste

Globalement, les recensions des écrits, effectuées en 2010 puis en 2013, ont permis de constater qu'il y a peu de données scientifiques concernant l'impact des activités d'exploration et d'exploitation du gaz de schiste sur la santé de la population.

Les principales connaissances issues des documents consultés dans le cadre des recensions de 2010 et de 2013 sont regroupées selon les différentes thématiques abordées, à savoir : les risques technologiques, les risques reliés à la pollution de l'air, les risques reliés à la contamination de l'eau et les risques d'effets sur la qualité de vie.

8.2.1 RISQUES TECHNOLOGIQUES

- Des explosions, des incendies, des fuites et des déversements de matières dangereuses sont les principaux types d'événements accidentels en lien avec les activités d'exploitation et d'exploration du gaz de schiste, qui sont susceptibles de menacer la santé de la population. De tels événements ont été rapportés aux États-Unis et au Canada.
- Des événements accidentels peuvent survenir tout au long du processus d'exploration et d'exploitation de cette ressource :
 - sur le site d'exploitation (ex. : au cours du forage, de la complétion et de l'entretien des puits; de la fracturation hydraulique; et de la collecte et du traitement du gaz naturel capté);
 - lors du transport de matières dangereuses (ex. : vers les sites de forage, de traitement ou d'entreposage; lors du transport par gazoduc);
 - lors de l'entreposage du gaz naturel.

- La plupart des accidents survenus tout au long du processus d'exploration et d'exploitation du gaz sont associés à des erreurs humaines, à de la négligence, à des défaillances matérielles et à la complétion inadéquate des puits de forage. Des risques naturels (ex. : tornade, foudre, tempête, inondation, feu de forêt) peuvent causer ou aggraver des événements accidentels découlant des activités d'exploitation du gaz de schiste.
- Lors de déversements et de fuites de substances chimiques, les travailleurs, la population avoisinante (du site d'exploitation ou des réseaux de transport) et les premiers répondants sont les sujets les plus à risque de subir de graves conséquences. Les répercussions sur la santé des personnes varient selon le contexte et la gravité de l'événement accidentel en cause.
- Le transport de matières dangereuses comporte des risques particuliers aux différentes phases du transport (chargement, transport proprement dit et déchargement).

Les documents recensés permettent de soulever aussi des constats pour la gestion de ces risques :

- Un encadrement de l'industrie et un resserrement de la législation paraissent des mesures efficaces pour réduire la fréquence des événements environnementaux.
- Les mesures d'urgence et la surveillance demeurent des aspects de la gestion des risques à bien considérer; un des défis étant de favoriser la collaboration entre l'industrie gazière et les principaux organismes publics concernés.

Par ailleurs, les constats issus des écrits consultés permettent de remarquer que les connaissances sur la nature, les quantités et les procédures de manipulation et de transport des substances chimiques utilisées par l'industrie gazière demeurent encore incomplètes. Ce manque de connaissances fait en sorte qu'il n'est pas encore possible d'évaluer le niveau potentiel d'exposition à ces substances, tant pour les travailleurs que pour la population environnante, et de faire l'évaluation des risques.

8.2.2 RISQUES RELIÉS À LA POLLUTION DE L'AIR

L'exposition aux polluants de l'air est associée à plusieurs effets sur la santé, notamment à des effets cardiorespiratoires. La documentation consultée permet de noter les éléments suivants :

- Diverses modélisations et mesures effectuées depuis 2010, à proximité de sites où se déroulent des activités reliées au gaz de schiste, permettent de prévoir des augmentations locales des concentrations de certains polluants de l'air et, en particulier, les augmentations des particules fines de l'ozone et des gaz précurseurs à la formation de l'ozone (c'est-à-dire, les COV).
- Très peu d'études ont porté sur les risques pour la santé associés à l'exposition aux polluants de l'air émis lors des activités d'exploration et d'exploitation du gaz de schiste. Quelques évaluations estiment que les risques sont plus importants pour les individus habitant à proximité de puits (ex. : < 1 km) ou dans les comtés américains où les activités sont le plus concentrées.

Dans une perspective de gestion des risques, la littérature scientifique colligée et les règles de l'art suggèrent des approches d'estimation de risques pour la santé, notamment quant à l'effet cumulé des composés émis dans l'air et quant aux mesures de polluants de l'air effectuées préalablement à toute activité d'exploration. De plus, les principes de gestion des risques appliqués en santé publique (Ricard, 2003) amènent à penser que le risque serait mieux géré en tenant compte de distances séparatrices entre les sites d'exploration et d'exploitation du gaz de schiste et les zones habitées.

Finalement, les constats issus de la documentation consultée montrent que la prise en compte des effets indirects sur la santé associés aux gaz à effet de serre émis lors des activités reliées à l'exploration et à l'exploitation du gaz de schiste est requise pour documenter les risques de façon cohérente selon les modalités préconisées en santé publique.

8.2.3 RISQUES RELIÉS À LA CONTAMINATION DE L'EAU

La documentation consultée montre que les possibilités de contamination des eaux souterraines sont réelles. Notamment :

- Des contaminations sont survenues à la suite d'un accident, par exemple lors d'une défaillance technique au moment de la fracturation entraînant le rejet dans l'environnement des boues et des produits de la fracturation; lors d'une fuite de gaz due à une défaillance des infrastructures des voies d'extraction et pendant les opérations régulières d'extraction du gaz de schiste.
- Il a été démontré que des problèmes d'étanchéité des coffrages des puits d'extraction étaient à l'origine de cas de contamination survenus dans des conditions normales de fonctionnement.
- Une hypothèse controversée suggère la migration accélérée des contaminants contenus dans la roche-mère vers la surface à travers des failles ou des fissures causées ou accentuées par la fracturation hydraulique. Toutefois, cette hypothèse reste à confirmer ou à infirmer par de nouvelles recherches. Si elle était confirmée, le risque de contamination des nappes phréatiques persisterait même si des solutions techniques définitives étaient apportées aux problèmes d'étanchéité.

Enfin, l'exercice de recension de l'INSPQ (aussi bien celui de 2010 que celui de 2013) montre qu'il reste plusieurs connaissances à acquérir.

8.2.4 RISQUES D'EFFETS SUR LA QUALITÉ DE VIE

Les activités reliées à l'exploration et à l'exploitation du gaz de schiste sont susceptibles d'avoir des impacts sur la qualité de vie et la santé sociale et psychologique, notamment sur les aspects suivants :

- L'augmentation de la circulation, le bruit, la luminosité intense et les vibrations causées par ces activités industrielles occasionnent des nuisances pour la population avoisinante, particulièrement chez les résidents vivant à proximité d'un site de forage ou d'une route empruntée par les travailleurs.
- Le phénomène *boomtown* (augmentation rapide de la population et arrivée de nouveaux membres dans une communauté ou une région) a été observé à maintes reprises dans les communautés états-uniennes exploitant le gaz de schiste. Lorsque ce phénomène est présent, il entraîne des effets socioéconomiques, culturels et psychologiques. Ces impacts varient selon le profil de la communauté d'accueil, les infrastructures et les services offerts et le niveau de préparation des autorités.
- La pénurie de logements, la hausse du prix des biens et des services et l'augmentation des tensions et des conflits ont été constatées dans plusieurs cas étudiés.
- Les nuisances et les effets sociaux ont causé, à leur tour, chez certaines personnes du stress, de l'anxiété, de l'angoisse, et ont suscité des sentiments de perte de confiance et de perte de contrôle.

Les résultats issus de la littérature amènent à réfléchir notamment au moment où il convient d'investiguer et de caractériser chaque population concernée. Selon les règles de l'art en évaluation des impacts, réaliser ces activités avant l'arrivée d'une industrie dans une région permet habituellement de prévenir certains de ces effets sociaux et psychologiques.

8.2.5 PERSPECTIVES DE RÉFLEXION EN MATIÈRE DE GESTION DES RISQUE POUR LA SANTÉ

La perspective de gestion des risques mise de l'avant par le réseau québécois de la santé publique préconise des principes directeurs dans les dossiers de ce type, dont la transparence, la participation, l'équité, l'appropriation des pouvoirs, la prudence et la rigueur scientifique. En ce sens, des avancées scientifiques ont été réalisées et se poursuivent afin de déterminer les problèmes et de considérer les solutions permettant de réduire les impacts sanitaires de l'industrie gazière. En revanche, de nouvelles questions scientifiques sont soulevées au sujet de plusieurs facteurs de risque dont l'impact à long terme sur la santé, qui demeure préoccupant pour les communautés où se développe cette industrie.

Par ailleurs, les résultats de cette recension démontrent l'importance de poursuivre des travaux de recherche dans la perspective d'orienter la démarche des instances concernées en matière d'exploration et d'exploitation du gaz de schiste au Québec. Les constats de cette recension mettent en relief des paramètres jugés incontournables en gestion des risques pour la santé. À cet égard, il faut souligner l'importance de mettre en œuvre les activités suivantes, notamment afin de soutenir la prise de décision et la gestion adéquate des risques pour la santé :

- Suivre l'évolution des recherches scientifiques.
- Documenter et rendre accessible les données associées à l'exposition aux divers facteurs de risque.
- Documenter et mesurer les paramètres présents avant toute opération.
- Établir des mesures de prévention et de protection pour limiter les risques pour la santé.

9 Conclusion

Le développement de la filière des hydrocarbures gaziers et pétroliers au Québec soulève des préoccupations, notamment quant aux impacts reliés à l'exploration et à l'exploitation de ces ressources sur l'environnement, la santé et la sécurité du public ainsi que sur le développement durable des collectivités concernées. Le mandat relié à la santé et à la sécurité des personnes, confié à l'INSPQ, s'inscrit dans le cadre des travaux du chantier *Société des ÉES*.

Il faut souligner qu'en sollicitant l'expertise de l'INSPQ, les responsables des ÉES permettent la prise en compte des enjeux de santé publique dans l'acquisition des connaissances sur les activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures. Ce mandat est cohérent avec la mission de l'INSPQ qui vise à faire progresser les connaissances et à proposer des stratégies et des actions intersectorielles susceptibles de protéger et d'améliorer la santé et le bien-être des populations.

La démarche scientifique entreprise par l'INSPQ avait pour principal objectif de documenter les enjeux de santé publique reliés à l'exploration et à l'exploitation des hydrocarbures. L'état des connaissances produit a permis de déterminer d'éventuels impacts sur la santé de la population et des travailleurs, et d'établir une liste des diverses connaissances à acquérir pour soutenir la prise de décision. Aussi, dans une perspective de prévention et de gestion des risques pour la santé publique, des pistes de réflexion sont proposées.

9.1 Enjeux relatifs à la santé de la population

9.1.1 IMPACTS DE LA CONTAMINATION DE L'EAU (SOUTERRAINE ET DE SURFACE) SUR LA SANTÉ DE LA POPULATION

9.1.1.1 Constats préliminaires

- Les événements les plus susceptibles de mener à une exposition de la population à du pétrole brut par l'intermédiaire de l'eau sont essentiellement associés à des événements accidentels, tels la rupture ou le bris d'oléoduc, le déversement de pétrole à partir d'un navire ou d'un quai de chargement, le déraillement de wagons de chemin de fer ou la dispersion de contaminants à la suite des opérations de forage.
- L'exposition au pétrole brut par l'intermédiaire de l'eau contaminée entraîne un certain nombre de manifestations cliniques qui font l'objet d'un consensus dans la littérature scientifique consultée : céphalées; irritations de la peau, des muqueuses (principalement du nez et de la gorge) et des yeux; ainsi que divers problèmes respiratoires (principalement gêne respiratoire et toux). Ces effets sont qualifiés d'aigus, car ils sont observés dans les heures ou les jours suivant l'exposition et sont généralement réversibles.
- Les fluides de forage (boues) de même que les fluides de stimulation des puits et les fluides de résurgence (saumures) peuvent constituer un risque d'exposition populationnelle s'ils entrent en contact avec les eaux destinées à la consommation humaine, notamment par l'intermédiaire du puits d'extraction lui-même ou par l'entremise de voies de migration présentes au sein des substrats géologiques concernés. Ce constat est cependant basé sur les renseignements concernant les opérations de fracturation hydraulique permettant d'extraire le gaz de schiste, car une telle information n'est actuellement pas disponible ou publiée en ce qui concerne l'extraction du pétrole de schiste (ou l'équivalent) par fracturation.

- Par ailleurs, puisque les études populationnelles consultées ne font pas état de suivi à long terme auprès des personnes exposées, il n'est présentement pas possible de brosser un portrait des séquelles chroniques potentielles associées à l'exposition au pétrole, le cas échéant. Il importe toutefois de préciser que quelques études menées sur la base de marqueurs biologiques, chez des personnes exposées au pétrole brut, ont révélé la présence d'anomalies enzymatiques et cellulaires ou de mutations chromosomiques, ce qui témoigne de potentielles atteintes sanitaires à long terme. Bien que le pétrole brut, dans sa globalité, ne soit pas considéré comme une substance cancérigène, certains composés issus du raffinage ou de son fractionnement sont reconnus comme étant cancérigènes chez l'animal ou l'humain. Cet effet se manifeste toutefois lorsque les personnes sont exposées à certaines concentrations de ces substances (notamment si elles sont à l'état pur), mais cela ne peut pas être transposé comme tel au pétrole brut, puisque la concentration de ces substances demeure variable. Conséquemment, de tels effets ne peuvent pas être exclus, quoiqu'il soit impossible de les quantifier sans recueillir des données précises relativement à l'exposition et à la concentration de ces substances dans un contexte d'exposition populationnelle.

9.1.1.2 Connaissances à acquérir

- Le principal aspect à documenter concerne les potentialités d'exposition de la population au pétrole brut par l'entremise de l'eau potable de source souterraine. En effet, la littérature colligée est muette quant à la présence de traces de pétrole brut dans les nappes d'eau souterraine et aux effets de ce pétrole sur la santé.
- Par ailleurs, l'exposition de la population aux fluides utilisés ou issus de l'application de techniques de stimulation ou de fracturation hydraulique n'est pas non plus précisée dans la littérature dans le contexte de l'exploitation pétrolière. Il en est de même pour ce qui est des effets sanitaires pouvant être observés chez les populations exposées à l'eau souterraine qui serait contaminée par ces fluides issus des secteurs assujettis à l'exploitation pétrolière, au moyen des techniques de stimulation ou de fracturation hydraulique.
- Les effets sur la santé découlant de l'exposition aux produits dispersants employés lors des travaux de nettoyage suivant les déversements en milieu marin ont été sommairement décrits dans le présent document sur la base d'une seule revue de littérature. Une revue plus exhaustive des écrits portant sur les risques sanitaires associés à l'exposition à de tels produits pourrait être réalisée ultérieurement.
- Finalement, les effets sanitaires découlant de l'ingestion de produits de la pêche (et plus particulièrement les organismes marins benthiques) contaminés par des produits pétroliers n'ont pas été documentés dans la présente étude, cet aspect n'étant pas inclus dans le mandat initial; cet enjeu pourrait faire l'objet d'une revue de littérature.

9.1.2 IMPACTS DE LA CONTAMINATION DES SOLS ET DES SÉDIMENTS SUR LA SANTÉ DE LA POPULATION

9.1.2.1 Constats préliminaires

- Aucune évaluation complète de l'exposition de la population, et des risques pour la santé en découlant, n'a été réalisée dans un contexte similaire à celui du Québec, en lien avec la mise en œuvre d'activités d'exploration et d'exploitation pétrolière et gazière en milieu terrestre ou marin.
- Les données disponibles dans la littérature ne permettent pas de distinguer les impacts sur la santé liés à la contamination des sols découlant de l'exploration et de l'exploitation pétrolière de ceux découlant de la contamination des sols à la suite d'autres activités industrielles, comme la transformation pétrochimique, ou à la suite de l'abandon de sites contaminés.

- La contamination des sols lors de ces activités est principalement causée par des déversements accidentels, majeurs ou mineurs, ou encore par des activités industrielles suivies d'un abandon des installations.
- En milieu marin, les sédiments présents au pourtour des sites de forage peuvent être contaminés par les mêmes produits que ceux employés lors des forages en milieu terrestre, que ce soit en raison des fuites du puits de forage ou encore en raison du rejet en mer, par les plateformes pétrolières, des boues utilisées comme lubrifiant lors des activités de forage.
- La contamination de la chaîne alimentaire à partir de la faune benthique vivant dans les sédiments et sur les fonds marins est mentionnée dans la littérature à titre de vecteur de la contamination; dans la mesure où les organismes marins sont consommés par l'humain.
- Les poussières et les particules de sols contaminées, portées par le vent hors des sites contaminés proprement dits, peuvent représenter une source d'exposition pour les populations avoisinantes que ce soit par inhalation des particules emportées, par contact cutané avec celles-ci ou encore par ingestion de ces dernières, en particulier chez les jeunes enfants.
- L'activité d'extraction du pétrole, particulièrement en milieu terrestre, peut entraîner une augmentation de la concentration des sols de surface en radionucléides.

9.1.2.2 Connaissances à acquérir

La production d'évaluations du risque rigoureuses requiert une caractérisation des concentrations de *bruit de fond* des contaminants pertinents dans les sols et les sédiments des environnements québécois visés par les activités d'exploration et d'exploitation de l'industrie.

Une évaluation exhaustive de l'impact des activités d'exploration et d'exploitation pétrolière sur la santé humaine au Québec demanderait :

- de documenter et de caractériser les sources de pollution des sols et des sédiments des environnements (locaux ou régionaux) visés par les activités, en accord avec les scénarios de développement des activités d'exploration et de production pétrolière envisagées pour le Québec.
- d'obtenir une liste exhaustive (complète) des produits chimiques, et leurs quantités respectives, dont on envisage l'utilisation durant les activités, menées en territoire québécois, qui sont reliées à l'exploration et à l'exploitation des hydrocarbures gaziers et pétroliers.

Par ailleurs, l'évaluation quantitative des risques requiert d'utiliser des données décrivant les concentrations environnementales dans les milieux où se trouvent les populations; par conséquent, il sera nécessaire d'obtenir de telles données applicables au contexte québécois. Ainsi, des données mesurées sur le terrain (ex. : Anticosti, Gaspésie), ou modélisées, pourraient être utiles.

9.1.3 IMPACTS DE LA CONTAMINATION DE L'AIR AMBIANT SUR LA SANTÉ DE LA POPULATION

9.1.3.1 Constats préliminaires

- Les activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures émettent des polluants de l'air tels que des particules fines (PM_{2,5}, dont le diamètre médian est < 2,5 µm), des NO_x, des SO_x et des COV (comme le benzène, le toluène, les xylènes et les éthylbenzènes).
- Les émissions varient selon le type d'extraction (pétrole ou gaz, extraction conventionnelle ou non conventionnelle), mais très peu d'informations existent à cet effet.

- D'autres contaminants peuvent aussi être émis à proximité de sites d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures comme le sulfure d'hydrogène, s'il est présent dans les gaz brûlés dans les torchères.
- Il existe peu d'informations sur les expositions des populations en lien avec l'exploration et l'exploitation des hydrocarbures. Toutefois, les expositions varieront selon la distance entre les populations et les sites, l'intensité des activités et les autres conditions particulières (topographie par exemple).
- Les polluants émis lors des activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures sont associés à des effets cardiorespiratoires et à des cancers. Très peu d'études chez les personnes qui résident à proximité des sites d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures ont été publiées et elles présentent des limites.

9.1.3.2 Connaissances à acquérir

Les données nécessaires à l'estimation de l'exposition des populations et des risques pour la santé associés à l'exploration et à l'exploitation des hydrocarbures au Québec ne sont pas disponibles.

Étant donné la présence simultanée de plusieurs composés lors des activités d'exploitation et d'exploration des hydrocarbures, les estimations de risques pour la santé nécessiteront que des approches soient élaborées pour que l'effet cumulé de l'ensemble des composés émis dans l'air soit considéré.

9.1.4 EFFETS SUR LA SANTÉ DE LA POPULATION DES URGENCES ASSOCIÉES À L'EXPLORATION ET À L'EXPLOITATION DES HYDROCARBURES PÉTROLIERS

9.1.4.1 Constats préliminaires

- En cas de déversements accidentels de même que de fuites d'hydrocarbures pétroliers et de substances chimiques, les travailleurs, la population située à proximité et les premiers répondants sont les personnes les plus à risque de subir les importantes répercussions potentielles d'une exposition dont les effets sur la santé sont peu documentés.
- Divers événements accidentels peuvent se produire lors des activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures pétroliers : explosions, incendies, fuites et déversements. Ces événements entraînent la contamination de l'environnement (eau, air ambiant, sols et sédiments) par du pétrole brut, mais aussi par d'autres produits chimiques (ex. : ceux utilisés et rejetés lors de la fracturation hydraulique, émis lors d'un incendie, etc.).
- Parmi les facteurs contributifs déterminés lors d'enquêtes sur des accidents, on trouve fréquemment une culture de la sécurité déficiente dans l'entreprise, une gestion des risques inefficace, une formation inadéquate des travailleurs, un mauvais entretien des équipements et une surveillance inefficace réalisée par les organismes responsables des diverses réglementations.
- La plupart des déversements répertoriés dans les sites fixes se produisent dans des installations portuaires. D'autres, généralement de moindre importance, surviennent lors des activités de triage dans les installations ferroviaires.
- Des déversements majeurs ont lieu sur les plateformes extracôtières où les risques d'incendies et d'explosions de même que les bris de structures ne sont pas négligeables et où la gestion de la sécurité est complexifiée par la présence d'un grand nombre de sous-traitants spécialisés. Des

déversements importants peuvent aussi impliquer des pétroliers, des vraquiers et des barges lors d'échouements et de collisions de même que des trains lors de déraillements.

- Quels que soient les modes de transport employés (routier, ferroviaire, maritime et pipeline), les accidents reliés aux matières dangereuses, incluant le pétrole, surviennent deux fois plus souvent lors du chargement et du déchargement aux installations de transport que pendant le transport lui-même.
- En plus des décès lors des incendies et des explosions impliquant des hydrocarbures, la population située à proximité se verrait exposée à des émanations de produits toxiques provenant non seulement du pétrole lui-même (hydrocarbures pétroliers, benzène, toluène, éthylbenzène, xylènes et H₂S), mais aussi de dispersants utilisés et de contaminants résultant des incendies (HAP, dioxines, furannes). Peu d'études ont été réalisées concernant les effets aigus de ces contaminants sur la population, car relativement peu de déversements se sont produits à proximité de zones densément peuplées.
- Les trois voies possibles d'exposition aux produits toxiques lors d'un accident (incendie, explosion, fuite et déversement) sont l'inhalation, l'ingestion et l'absorption cutanée. Les effets dépendent du type de produit déversé et de la durée de l'exposition. Les symptômes possibles, étudiés surtout chez des populations riveraines, comprennent notamment des céphalées; de l'irritation aux yeux, à la gorge, à la peau et aux voies respiratoires; de l'irritabilité; de la fièvre; de la fatigue; des nausées et des vomissements. On indique que la plupart de ces symptômes disparaissent en moins d'une semaine chez les personnes ne participant pas aux travaux de nettoyage. Récemment, des anomalies hématologiques, hépatiques, rénales, respiratoires de même que de certaines fonctions neurologiques ont aussi été notées au sein des populations exposées et chez les travailleurs. Les effets psychosociaux demeurent prépondérants et perdurent longtemps chez les personnes exposées et au sein des communautés touchées.
- Bien que certaines fractions de produits pétroliers soient reconnues comme étant cancérigènes, la durée d'exposition étant généralement courte, la probabilité de tels effets demeure faible dans le contexte d'accidents et d'expositions aigües.

9.1.4.2 Connaissances à acquérir

L'évaluation et la gestion des impacts sanitaires potentiels reliés à l'exploration et à l'exploitation pétrolière doivent nécessairement prendre en compte l'exposition possible de la population aux matières dangereuses qui sont entreposées et transportées dans le cadre des opérations de l'industrie pétrolière. À cet égard, plusieurs aspects concernant les risques pour la santé lors de situations d'urgence en lien avec l'exploration et l'exploitation de pétrole demeurent à documenter par l'entreprise ou par les autorités gouvernementales responsables, entre autres :

1. En ce qui a trait à la présence et à la nature des matières dangereuses sur un territoire donné de même qu'à l'exposition de la population aux matières dangereuses manutentionnées, entreposées et transportées sur ce territoire :
 - obtenir une liste exhaustive des matières dangereuses et des quantités qui seront manipulées (tout particulièrement lors des chargements et des déchargements dans les sites de transbordement), entreposées et transportées;
 - connaître le volume et la durée des activités;
 - localiser les principales infrastructures d'entreposage (sites fixes) et de transport (routier, ferroviaire, portuaire, pipeline);
 - caractériser les populations humaines susceptibles d'être exposées;

- documenter la distance entre les populations humaines susceptibles d'être exposées et : les sites d'exploration et de production de pétrole, les sites d'entreposage de matières dangereuses et les infrastructures de transport (incluant les routes);
 - recueillir de l'information provenant des transporteurs sur les trajets utilisés;
 - se procurer les plans de mesures d'urgence élaborés et être au fait de la réelle capacité des petites municipalités de les mettre en œuvre.
2. Pour ce qui est des événements accidentels et de leurs impacts potentiels sur la santé humaine :
- documenter la probabilité de survenue d'événements accidentels;
 - rassembler les données descriptives ou les rapports d'enquête sur les événements accidentels survenus antérieurement (fréquence, types, circonstances d'exposition, principaux effets sanitaires à appréhender, etc.);
 - obtenir des données sur les principaux scénarios d'accidents (modélisations, etc.);
 - documenter les principaux impacts potentiels des événements accidentels, impliquant des matières dangereuses, sur l'environnement et la santé humaine, notamment par une recension des écrits.
3. En ce qui concerne la gestion des risques liés aux événements accidentels :
- effectuer une analyse des lois, des règlements et des normes encadrant présentement les urgences et les sinistres;
 - réaliser une recension des écrits portant sur l'évaluation de la mise en application de différentes options de gestion des risques et sur leur capacité à les réduire;
 - faire une recension des écrits sur la communication et la perception des risques d'accidents et des risques pour la santé.

9.2 Enjeux relatifs à la santé des travailleurs

9.2.1 CONSTATS PRÉLIMINAIRES

Les travailleurs de l'industrie pétrolière, qu'il s'agisse d'exploitation en milieu marin ou terrestre, font face à un taux élevé de mortalité attribuable, principalement, à des accidents de véhicules et au contact avec des objets. Les écrits recensés mettent également en lumière plusieurs facteurs de risque touchant la santé des travailleurs de cette industrie, comme :

- les risques chimiques (produits toxiques, corrosifs, irritants, sensibilisants, asphyxiants, neurotoxiques et cancérigènes);
- les risques physiques (bruit, vibrations, radiations et extrêmes de température);
- les risques ergonomiques (manutention, travail répétitif et postures de travail, outils vibrants);
- les risques psychosociaux (surcharge, horaires de travail, travail en régions éloignées).

Dans une optique d'implantation d'une industrie pétrolière au Québec, tous les risques professionnels mentionnés ci-dessus sont susceptibles de se trouver dans les milieux de travail québécois (terrestre et marin).

- Certains risques chimiques et physiques pouvant causer des atteintes irréversibles doivent être priorisés à court terme, notamment l'exposition aux substances cancérigènes comme le benzène, au mélange BTEX (neurotoxiques), aux matières particulaires de diesel (irritations et inflammation pulmonaire), à la silice cristalline (fibrogène et cancérigène), aux rayonnements ionisants (mutagènes) et au bruit intense (surdité).
- Les troubles musculo-squelettiques (TMS) sont également présents chez les travailleurs de ce secteur, principalement ceux causés par les efforts excessifs et les outils vibrants, et ce, peu importe le milieu d'exploitation (terrestre et marin).

Plus précisément, en milieu marin, plus de 90 % des produits chimiques trouvés sur les plateformes de forage en haute mer sont utilisés sous forme de fluides de forage.

- Ces fluides, mélanges complexes et variables selon les conditions de forage, sont associés à diverses atteintes à la santé comme des irritations, des inflammations et des dermatites.
- En outre, les travailleurs seraient aussi exposés à divers contaminants provenant des boues de forage.

En milieu terrestre, le procédé d'extraction d'hydrocarbures par fracturation hydraulique (extraction non conventionnelle) est relativement récent. Ainsi, le développement et l'implantation de mesures de contrôle efficaces sont nécessaires pour limiter l'exposition professionnelle :

- à la silice utilisée comme agent de soutènement dans les fluides de fracturation;
- aux différents constituants chimiques des fluides de fracturation;
- aux contaminants issus des opérations de récupération, de stockage et de manipulations de fluides de résurgence.

9.2.2 CONNAISSANCES À ACQUÉRIR

Afin de mieux protéger la santé des travailleurs québécois lors de futures activités d'extraction et d'exploitation d'hydrocarbures pétroliers, il serait nécessaire :

- de dresser un inventaire exhaustif des produits utilisés dans les fluides et les boues de forage en milieu marin québécois et de mieux caractériser et surveiller l'exposition professionnelle à ces produits;
- de caractériser l'exposition professionnelle lors de l'extraction des hydrocarbures par fracturation hydraulique horizontale;
- de suivre davantage les effets à long terme observés chez les travailleurs du secteur pétrolier en adoptant une approche orientée sur la surveillance des risques pour la santé et des maladies professionnelles qui en découlent.

9.3 Pistes d'options de gestion des risques pour la santé de la population et des travailleurs en lien avec les activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures

La documentation consultée dans le cadre du présent mandat suggère que les activités régulières d'exploration ou d'exploitation des hydrocarbures et surtout les accidents peuvent présenter des risques potentiels pour la santé humaine. Dans ce contexte, il est important que les responsables, notamment les autorités gouvernementales et les entreprises, s'assurent de la mise en place de différentes options de gestion des risques afin de protéger la santé de la population. À cet effet, dans chacune des sections thématiques, certaines pistes plus spécifiques sont présentées afin de contribuer à la prévention et à la gestion des risques pour la santé de la population, incluant la santé des travailleurs. Le lecteur est invité à s'y référer pour une description plus détaillée.

Les pistes énoncées reposent, entre autres, sur les principes directeurs de la démarche de gestion des risques en santé publique (Ricard, 2003), à savoir : l'appropriation des pouvoirs par les individus et la collectivité, l'équité au sein des communautés, l'ouverture permettant la participation des parties intéressées et touchées, la primauté de la protection de la santé humaine, la prudence, la rigueur scientifique ainsi que la transparence à l'égard des parties intéressées et touchées. Selon l'évolution des connaissances, au fil du temps, ces options de gestion des risques pourraient être adaptées ou amenées à évoluer.

Enfin, parmi les diverses options de gestion des risques proposées dans les différents chapitres de ce rapport, certaines sont communes aux domaines de la santé environnementale et de la santé au travail. Elles peuvent donc se regrouper ainsi :

- Documenter et mesurer les paramètres présents avant la mise en œuvre de toute opération (par exemple : une caractérisation des concentrations de *bruit de fond* des contaminants pertinents).
- Documenter en profondeur les risques découlant des procédés, des méthodes de travail et des produits utilisés lors des activités d'extraction d'hydrocarbures et tenir compte des effets cumulés de ces risques.
- S'appuyer sur la législation disponible, et le cas échéant, mettre en place une nouvelle réglementation pour régir les activités reliées à cette industrie.
- S'appuyer sur les cadres de référence en matière de prévention et d'intervention en cas de déversements accidentels.
- Établir des mesures de prévention et de protection pour limiter les risques pour la santé de la population et des travailleurs lors des activités régulières et en cas d'accident.
- Favoriser l'établissement de collaborations, notamment par une approche et une gestion intégrées du territoire.
- Promouvoir la collaboration entre l'industrie et les milieux universitaires pour la recherche de solutions.
- Prévoir un système de surveillance des accidents et des atteintes à la santé (incluant des maladies professionnelles) afin d'en améliorer la prévention et le suivi.
- Suivre l'évolution des recherches scientifiques et des nouvelles connaissances disponibles, notamment en lien avec les enjeux de santé publique relatifs aux activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures gaziers et pétroliers.

Références

Résumé

Brisson, G., Campagna, C., Carrier, G., Chevalier, P., Deger, L., Gauvin, D., ... Smargiassi, A. (2010). *État des connaissances sur la relation entre les activités liées au gaz de schiste et la santé publique. Rapport préliminaire*. Québec : Institut national de santé publique du Québec.

Brisson, G., Thibault, C., Gervais, M. C., Allard, R., Deger, L., Laplante, L., ... Bouchard-Bastien, E. (2013). *État des connaissances sur la relation entre les activités liées au gaz de schiste et la santé publique. Mise à jour*. Québec : Institut national de santé publique du Québec.

Ricard, S. (2003). *Cadre de référence en gestion des risques pour la santé dans le réseau québécois de la santé publique*. Québec : Institut national de santé publique du Québec.

Mise en contexte

Gouvernement du Québec. (2014). Plan d'action gouvernemental. Récupéré de <http://hydrocarbures.gouv.qc.ca/plan-action-hydrocarbures.asp>.

Présentation du bien livrable

Brisson, G., Thibault, C., Gervais, M. C., Allard, R., Deger, L., Laplante, L., ... Bouchard-Bastien, E. (2013). *État des connaissances sur la relation entre les activités liées au gaz de schiste et la santé publique. Mise à jour*. Québec : Institut national de santé publique du Québec.

Ricard, S. (2003). *Cadre de référence en gestion des risques pour la santé dans le réseau québécois de la santé publique*. Québec : Institut national de santé publique du Québec.

Approche méthodologique – hydrocarbures gaziers et santé humaine

Brisson, G., Thibault, C., Gervais, M. C., Allard, R., Deger, L., Laplante, L., ... Bouchard-Bastien, E. (2013). *État des connaissances sur la relation entre les activités liées au gaz de schiste et la santé publique. Mise à jour*. Québec : Institut national de santé publique du Québec.

Santé de la population – hydrocarbures pétroliers

Eau (souterraine et de surface)

Agbalagba, E. O., Awwiri, G. O. et Ononugbo, C. P. (2013). Evaluation of naturally occurring radioactivity materials (NORM) of soil and sediments in oil and gas wells in western Niger Delta region of Nigeria. *Environmental Earth Sciences*, 70(6), 2613-2622.

Aguilera, F., Méndez, J., Pásaroa, E. et Laffon, B. (2010). Review on the effects of exposure to spilled oils on human health. *Journal of Applied Toxicology*, 30, 291-300.

Ajayi, T. R., Torto, N., Tchokossa, P. et Akinlua, A. (2009). Natural radioactivity and trace metals in crude oils: implication for health. *Environmental Geochemistry and Health*, 31(1), 61-69.

Akinyede, A. A., Akintonwa, A., Olayemi, S. O. et Emeka, P. M. (2006). Investigating the Idoho oil spillage into Lagos: some confounding health factors. *Nigerian Journal of Health and Biomedical Sciences*, 5, 89-93.

Akobundu, A. N. (2014). Impact of gas-flaring on the quality of rain water, groundwater and surface water in parts of Eastern Niger Delta, Nigeria. *Journal of Geosciences and Geomatics*, 2(3), 114-119.

Amat-Bronnert, A., Castegnaro, M., et Pfohl-Leszkowicz, A. (2007). Genotoxic activity and induction of biotransformation enzymes in two human cell lines after treatment by Erika fuel extract. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 23(1), 89-95.

Baars, B. J. (2002). The wreckage of the oil tanker "Erika" — human health risk assessment of beach cleaning, sunbathing and swimming. *Toxicology Letters*, 128(1-3), 22-68.

Bi, H. et Si, H. (2012). Dynamic risk assessment of oil spill scenario for Three Gorges Reservoir in China based on numerical simulation. *Safety Science*, 50(4), 1112-1118.

Campbell, D. et Brewster, D. (1993). Initial effects of the grounding of the tanker Braer on health in Shetland. *BMJ*, 307(6914), 1251-1255.

Carrasco, J. M., Lope, V., Perez-Gomez, B., Aragonés, N., Suárez, B., López-Abente, G., ... Pollán, M. (2006). Association between health information, use of protective devices and occurrence of acute health problems in the Prestige oil spill clean-up in Asturias and Cantabria (Spain): a cross-sectional study. *BMC Public Health*, 6, 1.

Centers for Disease Control and Prevention. (2010). Gulf oil spill 2010: light crude oil information for health professionals. Récupéré de http://emergency.cdc.gov/gulfoilspill2010/light_crude_health_professionals.asp.

Centre international de recherche sur le cancer. (1989). *Occupational exposures in petroleum refining: crude oil and major petroleum fuels* (monograph 45). Auteur.

Chen, Z. et Huang, G. H. (2003). Integrated subsurface modeling and risk assessment of petroleum-contaminated sites in Western Canada. *Journal of Environmental Engineering*, 129(9), 858-872.

Chowdhury, K. H., Husain, T., Veitch, B. et Hawboldt, K. (2009). Probabilistic risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in produced water. *Human and Ecological Risk Assessment*, 15(5), 1049-1063.

D'Andrea, M. A. et Reddy, G. K. (2013). Health consequences among subjects involved in Gulf Oil spill clean-up activities. *The American Journal of Medicine*, 126(11), 966-974.

D'Andrea, M. A. et Reddy, G. K. (2014). Health risks associated with crude oil spill exposure. *The American Journal of Medicine*, 127(9), 886.e9-886.e13.

Dor, F., Bonnard, R., Gourier-Fréry, C., Cicoella, A., Dujardin, R. et Zmirou, D. (2003). Health risk assessment after decontamination of the beaches polluted by the wrecked ERIKA tanker. *Risk Analysis* 23(6), 1199-1208.

Eom, S. Y., Kim, Y. S., Jeong, W. C., Hur, J., Moon, S. I., Kim, J. H., ...Kim, H. (2011). Effects of the crude oil exposure by Hebei Spirit oil spill on oxidative stress in residents and clean-up volunteers of Taean, Korea. *Epidemiology*, 22(1), S236.

Eykelbosh, A. (2014). *Short- and long-term health impacts of marine and terrestrial oil spills. A literature review prepared for the Regional Health Protection Program, Office of the Chief Medical Health Officer, Vancouver Coastal Health*. Vancouver Coastal Health.

Gallucci, R., Kemp, J., Lockett-Chastain, L. et McShan, W. (2014). Dermatological effects of weathered petroleum exposure. *The FASEB Journal*, 28(1 Suppl.), 844.18.

- GENIVAR. (2013). *Évaluation environnementale stratégique sur la mise en valeur des hydrocarbures dans les bassins d'Anticosti, de Madeleine et de la baie des Chaleurs (EES2) – Rapport d'étude*. Récupéré de http://www.mern.gouv.qc.ca/publications/energie/ees/EES2_Rapport_final.pdf.
- Goldstein, B. D., Osofsky, H. J. et Lichtveld, M. Y. (2011). The Gulf oil spill. *New England Journal of Medicine*, 364(14), 1334-1348.
- Gwack, J., Lee, J. H., Kang, Y. A., Chang, K. J., Lee, M. S. et Hong, J. Y. (2012). Acute health effects among military personnel participating in the cleanup of the Hebei Spirit oil spill, 2007, in Taean County, Korea. *Osong Public Health and Research Perspectives*, 3(4), 206-212.
- Ha, M., Kwon, H., Cheong, H. K., Lim, S., Yoo, S. J., Kim, E.-J., Park, S. G., ...Chung, B. C. (2012). Urinary metabolites before and after cleanup and subjective symptoms in volunteer participants in cleanup of the Hebei Spirit oil spill. *Science of the Total Environment*, 429, 167-173.
- Hae-Kwan, C., Byoung-Hak, J., Ryeon, N. S., Young-Hyun, C. et Woo-Chul, J. (2012). P-095: Relationship between the possibility of MCS/IEI and the chemical exposure period in residents participating in clean-up works of Hebei Spirit oil spill in Korea. *Epidemiology*, 23(5S), S-504.
- Janjua, N. Z., Kasi, P. M., Nawaz, H., Farooqui, S. Z., Khuwaja, U. B., Najam, U. H., ...Sathiakumar, N. (2006). Acute health effects of the Tasman Spirit oil spill on residents of Karachi, Pakistan. *BMC Public Health*, 6, 84.
- Jeon, Y. J., Noh, S. R., Kim, J. A., Bae, H. S., Eom, G. H., Choi, Y.-H., ...Cheong, H. K. (2012). *Allergic diseases according to the oil spill after one year*. ISSEE Conference Abstract, Colombia. SC, S-498.
- Jeong, W., Lee, J., Kim, H., Hur, J., Yong, E. S., Kwan, C. H., ...Jee, Y. (2011). Long-term health effects of Hebei Spirit oil spill on cleanup workers. *Epidemiology*, 22(1), S128-S129.
- Kazmi, T. et Usman, J. (2004). Health problems after oil spillage. *Journal of the Pakistan Medical Association*, 54(6), 342.
- Khurshid, R., Sheikh, M. A., et Iqbal, S. (2008). Health of people working/living in the vicinity of an oil-polluted beach near Karachi, Pakistan. *Eastern Mediterranean Health Journal*, 14(1), 179-182.
- Kpeglo, D. O., Mantero, J., Darko, E. O., Emi-Reynolds, G., Akaho, E. H. K., Faanu, A. et Garcia-Tenorio, R. (2014). Radiological exposure assessment from soil, underground and surface water in communities along the coast of a shallow water offshore oilfield in Ghana. *Radiation Protection Dosimetry*.
- Lee, C. H., Kang, Y. A., Chang, K. J., Kim, C.H., Hur, J. I., Kim, J. Y et Lee, J. K. (2010). [Acute health effects of the Hebei oil spill on the residents of Taean, Korea]. *Journal of Preventive Medicine and Public Health*, 43(2), 166-173.
- Levy, B. S. et Nassetta, W. J. (2011). The adverse health effects of oil spills: a review of the literature and a framework for medically evaluating exposed individuals. *International Journal of Occupational Medicine & Environmental Health*, 17(2), 161-167.
- Lyons, R. A., Temple, J. M., Evans, D., Fone, D. L. et Palmer, S. R. (1999). Acute health effects of the Sea Empress oil spill. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 53(5), 306-310.
- Meo, S. A., Al-Drees, A. M., Meo, I. M., Al-Saadi, M. M. et Azeem, M. A. (2008). Lung function in subjects exposed to crude oil spill into sea water. *Marine Pollution Bulletin*, 56(1), 88-94.

Meo, S. A., Al-Drees, A. M., Rasheed, S., Meo, I. M., Al-Saadi, M. M., Ghani, H. A. et Alkandari, J. R. (2009). Health complaints among subjects involved in oil cleanup operations during oil spillage from a Greek tanker "Tasman Spirit". *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 22(2), 143-148.

Monyarch, G. G., Zock, J., Rodriguez-Trigo, G., Gomez, F., Pozo-Rodriguez, F., Barbera, J. ...Fuster, C. (2009). Specific chromosomal regions affected by fuel oil in fishermen who participated in the clean-up of Prestige oil spill. *Chromosome Research* 2009.

Nriagu, J. (2011). Oil industry and the health of communities in the Niger Delta of Nigeria. In *Reference module in earth systems and environmental sciences et Encyclopedia of environmental health* (p. 240-250) Burlington : Elsevier Récupéré de : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444522726007364>.

Ordinoha, B. et Brisibe, S. (2013). The human health implications of crude oil spills in the Niger Delta, Nigeria: an interpretation of published studies. *Nigerian Medical Journal: Journal of the Nigerian Medical Association*, 54(1)10-16.

Perez-Cadahia, B., Lafuente, A., Cabaleiro, T., Pasaro, E., Mendez, J. et Laffon, B. (2007). Initial study on the effects of Prestige oil on human health. *Environment International* 33(2), 176-185.

Perez-Cadahia, B., Laffon, B., Porta, M., Lafuente, A., Cabaleiro, T., Lopez, T., ...Mendez, J. (2008a). Relationship between blood concentrations of heavy metals and cytogenetic and endocrine parameters among subjects involved in cleaning coastal areas affected by the 'Prestige' tanker oil spill. *Chemosphere*, 71(3), 447-455.

Perez-Cadahia, B., Laffon, B., Valdiguiesias, V., Pasaro, E. et Mendez, J. (2008b). Cytogenetic effects induced by Prestige oil on human populations: the role of polymorphisms in genes involved in metabolism and DNA repair. *Mutation Research* 653(1-2), 117-123.

Perez-Cadahia, B., Mendez, J., Pasaro, E., Lafuente, A., Cabaleiro, T. et Laffon, B. (2008c). Biomonitoring of human exposure to Prestige oil: effects on DNA and endocrine parameters. *Environmental Health Insights* 2, 83-92.

Reis, F., Monyarch, G. G. et Fuster, C. (2009). Genotoxic effects in a population exposed to Prestige oil during the cleaning tasks: a review of literature. *Chromosome Research* 17(Supp.1), S98.

San Sebastian, S. M., Armstrong, B. et Stephens, C. (2002). Outcomes of pregnancy among women living in the proximity of oil fields in the Amazon basin of Ecuador. *International Journal of Occupational & Environmental Health*, 8(4), 312-319.

Schoenroth, L. J. et Fritzler, M. J. (2004). Autoantibody responses of individuals in an oil sands development community. *Archives of Environmental Health*, 59(3), 152-155.

Schvoerer, C., Gourier-Frery, C., Ledrans, M., Germonneau, P., Derrien, J., Prat, M., ... Marzin, M. (2000). *Étude épidémiologique des troubles de santé survenus à court terme chez les personnes ayant participé au nettoyage des sites pollués par le fioul de l'Erika*. France : Cellule Interrégionale d'Epidémiologie Ouest, Institut de Veille Sanitaire, Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales de la Loire Atlantique, Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales de la Vendée, Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales du Morbihan et Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales du Finistère.

Shakhawat, C., Tahir, H., et Neil, B. (2006). Fuzzy rule-based modelling for human health risk from naturally occurring radioactive materials in produced water. *Journal of Environmental Radioactivity*, 89(1), 1-17.

Sim, M. S., Jo, I. J. et Song, H. G. (2010). Acute health problems related to the operation mounted to clean the Hebei Spirit oil spill in Taean, Korea. *Marine Pollution Bulletin*, 60(1), 51-57.

Stanbury, M., Hekman, K., Wells, E., Miller, C., Smolinske, S. et Rutherford, J (2010). *Acute health effects of the Enbridge oil spill*. Michigan Department of Community Health.

Suarez, B., Lope, V., Perez-Gomez, B., Aragonés, N., Rodríguez-Artalejo, F., Marques, F., ...Pollan, M. (2005). Acute health problems among subjects involved in the cleanup operation following the Prestige oil spill in Asturias and Cantabria (Spain). *Environmental Research*, 99(3), 413-424.

Zhang, X. et Huang, G. H. (2011). Assessment of BTEX-induced health risk under multiple uncertainties at a petroleum-contaminated site: an integrated fuzzy stochastic approach. *Water Resources Research*, 47(12), W12533.

Zock, J. P., Rodríguez-Trigo, G., Rodríguez-Rodríguez, E., Souto-Alonso, A., Espinosa, A., Pozo-Rodríguez, F., ...Barberà, J. A. (2014). Evaluation of the persistence of functional and biological respiratory health effects in clean-up workers 6 years after the Prestige oil spill. *Environment International*, 62, 72-77.

Sols et sédiments

Agbalagba, E. O, Avwiri, G. O. et Chad-Umoreh, Y. E. (2012). γ -Spectroscopy measurement of natural radioactivity and assessment of radiation hazard indices in soil samples from oil fields environment of Delta State, Nigeria. *Journal of Environmental Radioactivity*, 109, 64-70.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (1995). *Toxicological profile for polycyclic aromatic hydrocarbons*. Atlanta, GA : Auteur.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (1999a). *Toxicological profile for xylenes*. Atlanta, GA : Auteur.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (1999b). *Toxicological profile for cadmium*. Atlanta, GA : Auteur.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (1999c). *Toxicological profile for mercury*. Atlanta, GA : Auteur.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2000). *Toxicological profile for ethylbenzene*. Atlanta, GA : Auteur.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2007a). *Toxicological profile for benzene*. Atlanta, GA : Auteur.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2007b). *Toxicological profile for toluene*. Atlanta, GA : Auteur.

Ajayi, T. R., Torto, N., Tchokossa, P. et Akinlua, A. (2009). Natural radioactivity and trace metals in crude oils: implication for health. *Environmental Geochemistry and Health*, 31(1), 61-69.

Dahlgren, J., Takhar, H., Anderson-Mahoney, P., Kotlerman, J., Tarr, J. et Warshaw, R. (2007). Cluster of systemic lupus erythematosus (SLE) associated with an oil field waste site: a cross sectional study. *Environmental Health*, 6, 8.

Équipe scientifique sur les risques toxicologiques. (2012). *Lignes directrices pour la réalisation des évaluations du risque toxicologique d'origine environnementale au Québec*. Québec : Institut national de santé publique du Québec.

Essiett, U. A., Effiong, G. S., Ogbemudia, F. O. et Bruno, E. J. (2010). Heavy metal concentrations in plants growing in crude oil contaminated soil in Akwa Ibom State, South-Eastern Nigeria. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 4(7), 465-470.

Fan, W., Yang, Y. S., Du, X. Q., Lu, Y. et Yang, M. X. (2011). Finger-printing biodegradation of petroleum contamination in shallow groundwater and soil system using hydro-bio-geochemical markers and modelling support. *Water, Air, and Soil Pollution*, 220(1-4), 253-263.

GENIVAR. (2013). *Évaluation environnementale stratégique sur la mise en valeur des hydrocarbures dans les bassins d'Anticosti, de Madeleine et de la baie des Chaleurs (EES2) – Rapport d'étude*. Récupéré de http://www.mern.gouv.qc.ca/publications/energie/ees/EES2_Rapport_final.pdf.

Groupe technique d'évaluation. (2008). *Lignes de conduite pour le traitement des dossiers de terrains contaminés ayant recours à l'analyse de risque*. Québec : Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs.

Ite, A. E. et Ibok, U. J. (2013). Gas flaring and venting associated with petroleum exploration and production in the Nigeria's Niger Delta. *American Journal of Environmental Protection*, 1(4), 70-77.

Ite, A. E., Ibok, U. J., Ite, M. U. et Petters, S. W. (2013). Petroleum exploration and production: past and present environmental issues in the Nigeria's Niger Delta. *American Journal of Environmental Protection*, 1(4), 78-90.

Iturbe, R., Flores, R. M. et Torres, L. G. (2003a). Soil and water contamination levels in an out-of-service oil distribution and storage station in Michoacan, Mexico. *Water, Air and Soil Pollution*, 146(1-4), 261-281.

Iturbe, R., Flores, R. M. et Torres, L. G. (2003b). Subsoil contaminated by hydrocarbons in an out-of-service oil distribution and storage station in Zacatecas, Mexico. *Environmental Geology*, 44(5), 608-620.

Jibiri, N. N. et Amakom, C. M. (2011). Radiological assessment of radionuclide contents in soil waste streams from an oil production well of a petroleum development company in Warri, Niger Delta, Nigeria. *Indoor and Built Environment*, 20(2), 246-252.

Kazimov, M. (2007). Hygienic assessment of solid wastes of oil production. *Central European Journal of Public Health*, S25.

Kpeglo, D. O., Mantero, J., Darko, E. O., Emi-Reynolds, G., Akaho, E. H. K., Faanu, A. et Garcia-Tenorio, R. (2014) Radiological exposure assessment from soil, underground and surface water in communities along the coast of a shallow water offshore oilfield in Ghana. *Radiation Protection Dosimetry*.

Kuang, S., Wu, Z. et Zhao, L. (2011). Accumulation and risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soils around oil sludge in Zhongyuan oilfield, China. *Environmental Earth Sciences*, 64(5) 1353-1362.

Kuang, S. et Zhao, L. (2011). Pollution characteristics and risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soils in winter around Zhongyuan oilfield, China. *Soil and Sediment Contamination: an International Journal*, 20(1), 75-86. Lindén, O. et Pålsson, J. (2013). Oil contamination in Ogoniland, Niger Delta. *AMBIO*, 42, 685-701.

National Research Council. (1983). *Risk assessment in the federal government: managing the process*. Washington, D.C. : National Academy of Sciences, National Academy Press.

Nduka, J. K., Obumselu, F. O. et Umedum, N. L. (2012). Crude oil and fractional spillages resulting from exploration and exploitation in Niger-Delta Region of Nigeria: a review about the environmental and public health impact. In Younes, M. (directeur). *Crude oil exploration in the world*. InTech.

Olawoyin, R., Grayson, L. et Okareh, O. T. (2012). Eco-toxicological and epidemiological assessment of human exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in the Niger Delta, Nigeria. *Toxicology and Environmental Health Sciences*, 4(3), 173-185.

Ordinioha, B. et Brisibe, S. (2013). The human health implications of crude oil spills in the Niger Delta, Nigeria: an interpretation of published studies. *Nigerian Medical Journal: Journal of the Nigeria Medical Association*, 54(1), 10-16.

Sebastian, M. S. et Hurtig, A. K. (2004). Oil exploitation in the Amazon basin of Ecuador: a public health emergency. *Revista Panamericana de Salud Publica*, 15(3), 205-211.

Tchokossa, P., Olomo, J. B., Balogun, F. A. et Adesanmi, C. A. (2013). Radiological study of soils in oil and gas producing areas in Delta State, Nigeria. *Radiation Protection Dosimetry*, 153(1), 121-126

Zhang, J., Yang, J. C., Wang, R. Q., Hou, H., Du, X. M., Fan, S. K., ...Dai, J. L. (2013). Effects of pollution sources and soil properties on distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons and risk assessment. *Science of the Total Environment*, 463-464, 1-10.

Air ambiant

Abdul-Wahab, S., Ali, S., Sardar, S. et Irfan, N. (2012). Impacts on ambient air quality due to flaring activities in one of Oman's oilfields. *Archives of Environmental and Occupational Health*, 67(1), 3-14.

Ana, G. R., Sridhar, M. K. et Emerole, G. O. (2012). Polycyclic aromatic hydrocarbon burden in ambient air in selected Niger Delta communities in Nigeria. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 62(1), 18-25.

Brisson, G., Campagna, L., Carrier, G., Chevalier, P., Deger, L., Gauvin, D., ...Smargiassi, A. (2010). *État des connaissances sur la relation entre les activités liées au gaz de schiste et la santé publique. Rapport préliminaire*. Québec : Institut national de santé publique du Québec.

Centre international de recherche sur le cancer. (2013). *La pollution atmosphérique une des premières causes environnementales de décès par cancer, selon le CIRC* (communiqué de presse n° 221). *Organisation mondiale de la santé*.

Field, R. A., Soltis, J. et Murphy, S. (2014). Air quality concerns of unconventional oil and natural gas production. *Environmental Sciences: Processes and Impacts*, 16(5), 954-969.

Fryzek, J., Pastula, S., Jiang, X. et Garabrant, D. H. (2013). Childhood cancer incidence in Pennsylvania counties in relation to living in counties with hydraulic fracturing sites. *Journal of Occupational & Environmental Medicine*, 55(7), 796-801.

Health Effects Institute. (2010). *Traffic-related air pollution: a critical review of the literature on emissions, exposure, and health effects. A special report of the HEI panel on the health effects of traffic-related air pollution*. Boston, Massachusetts : Auteur.

Littlejohn, D. et Lucas, D. (2003). Tank atmosphere perturbation: a procedure for assessing flashing losses from oil storage tanks. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 53(3), 360-365.

Macey, G. P., Breech, R., Chernaik, M., Cox, C., Larson, D., Thomas, D. et Carpenter, D. O. (2014). Air concentrations of volatile compounds near oil and gas production: a community-based exploratory study. *Environmental Health*, 13, 82.

McKenzie, L. M., Guo, R., Witter, R. Z., Satvitz, D. A., Newman, L. S. et Adgate, J. L. (2014). Maternal residential proximity to natural gas development and adverse birth outcomes in rural Colorado. *Environmental Health Perspectives*, 122(4), 412-417.

Olaguer, E. P. (2012). The potential near-source ozone impacts of upstream oil and gas industry emissions. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 62(8), 966-977.

Schifter, I., González-Macías, C., Miranda, A. et López-Salinas, E. (2005). Air emissions assessment from offshore oil activities in Sonda de Campeche, Mexico. *Environmental Monitoring and Assessment*. 109(1-3), 135-145.

US Environmental Protection Agency. (2008). *An assessment of the environmental implications of oil and gas production: a regional case study* (EPA Region 8, working draft). Auteur.

US Environmental Protection Agency. (2009). *Integrated science assessment for particulate matter*. Washington, DC. : Auteur.

Urgences de santé publique

Association canadienne des producteurs pétroliers. (2014). Transporting crude oil by train in Canada. Récupéré de <http://www.capp.ca/getdoc.aspx?DocId=242427>.

Bureau de la sécurité des transports du Canada. (2014). *Rapport d'enquête ferroviaire R13D0054. Train parti à la dérive et déraillement en voie principale. Train de marchandises MMA-002 de la Montreal, Maine & Atlantic Railway au point milliaire 0,23 de la subdivision Sherbrooke Lac-Mégantic (Québec) le 6 juillet 2013*. Gatineau : Auteur. Récupéré de <http://www.tsb.gc.ca/fra/rapports-reports/rail/2013/r13d0054/r13d0054.asp>.

Cruz, A. M. et Krausmann, E. (2009). Hazardous-materials releases from offshore oil and gas facilities and emergency response following Hurricanes Katrina and Rita. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 22(1), 59-65.

D'Andrea, M. A. et Reddy, G. K. (2014). Crude oil spill exposure and human health risks. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 56(10), 1029-1041.

De Marcellis-Warin, N., Trépanier, M. et Peignier, I. (2013). *Stratégies logistiques et matières dangereuses*. Montréal : Presses internationales Polytechnique.

Eykelbosh, A. (2014). *Short- and long-term health impacts of marine and terrestrial oil spills. A literature review prepared for the Regional Health Protection Program, Office of the Chief Medical Health Officer, Vancouver Coastal Health*. Vancouver : Vancouver Coastal Health.

Furchtgott-Roth, D. et Green, K. P. (2013). *Intermodal safety in the transport of oil*. Fraser Institute. Récupéré de <http://www.fraserinstitute.org/uploadedFiles/fraser-ca/Content/research-news/research/publications/intermodal-safety-in-the-transport-of-oil.pdf>.

Galvez-Cloutier, R., Guesdon, G. et Fonchain, A. (2014). Lac-Mégantic : analyse de l'urgence environnementale, bilan et évaluation des impacts. *Revue canadienne de génie civil*, 41(6), 531-539.

GENIVAR. (2013). *Évaluation environnementale stratégique sur la mise en valeur des hydrocarbures dans les bassins d'Anticosti, de Madeleine et de la baie des Chaleurs (EES2) – Rapport d'étude*. Auteur. Récupéré de http://www.mern.gouv.qc.ca/publications/energie/ees/EES2_Rapport_final.pdf.

International Standard Organisation (2009). *Management du risque – Principes et lignes directrices – ISO 31000*. Auteur.

Major, D. N. et Wang, H. (2012). How public health impact is addressed: a retrospective view on three different oil spills. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 94(3), 442-467.

Ministère de la Sécurité publique. (2008a). *Cadre de coordination de site de sinistre au Québec*. Québec : Auteur.

Ministère de la Sécurité publique. (2008b). *Gestion des risques en sécurité civile*. Québec : Auteur.

Organisation de coopération et de développement économiques. (2003). *Principes directeurs de l'OCDE pour la prévention, la préparation et l'intervention en matière d'accidents chimiques. Document d'orientation à l'intention de l'industrie (incluant direction et travailleurs), des pouvoirs publics, des collectivités et d'autres parties prenantes (2^e édition)*. Paris : Auteur.

Organisation de coopération et de développement économiques. (2008a). *Document d'orientation sur les indicateurs de performance en matière de sécurité pour la prévention, la préparation et l'intervention en matière d'accidents chimiques. Document d'orientation destiné aux pouvoirs publics et aux collectivités/au public (2^e édition; publication de l'OCDE sur l'environnement, la santé et la sécurité; série sur les accidents chimiques, n°18)*. Paris : Auteur.

Organisation de coopération et de développement économiques. (2008b). *Document d'orientation sur les indicateurs de performance en matière de sécurité pour la prévention, la préparation et l'intervention en matière d'accidents chimiques destiné à l'industrie (2^e édition; publication de l'OCDE sur l'environnement, la santé et la sécurité; série sur les accidents chimiques; n° 19)*. Paris : Auteur.

Organisation de coopération et de développement économiques. (2012). *La gouvernance d'entreprise en matière de sécurité des procédés. Document d'orientation à l'intention des cadres dirigeants des industries à hauts risques*. Auteur.

O'Rourke, D. et Connolly, S. (2003). Just oil? The distribution of environmental and social impacts of oil production and consumption. *Annual Review of Environment and Resources*, 28, 587-617.

Ricard, S. (2003). *Cadre de référence en gestion des risques pour la santé dans le réseau québécois de la santé publique*. Québec : Institut national de santé publique du Québec.

Sengul, H., Santella, N., Steinberg, L. J. et Cruz, A. M. (2012). Analysis of hazardous material releases due to natural hazards in the United States. *Disasters*, 36(4), 723-743.

Transports Canada. (2014). *Les transports au Canada 2013 : un survol (TP14816)*. Auteur. Récupéré de http://www.tc.gc.ca/media/documents/politique/Transportation_in_Canada_2013_fra_ACCESS.pdf.

Santé des travailleurs

Adgate J. L., Goldstein B. D. et McKenzie L. M. (2014). Potential public health hazards, exposures and health effects from unconventional natural gas development. *Environmental Science & Technology*, 48(15), 8307-8320.

Bjerkan, A. (2011). Work and health: a comparison between Norwegian onshore and offshore employees. *Work*, 40(2), 125-142.

Chauhan, N. (2013). *Safety and health management system in oil and gas industry*. Wipro Ltd. Récupéré de <http://www.wipro.com/documents/safety-and-health-management-system-in-oil-and-gas-industry.pdf>.

Esswein, E. J., Breitenstein, M., Snawder, J., Kiefer, M. et Sieber, W. K. (2013). Occupational exposures to respirable crystalline silica during hydraulic fracturing. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 10(7), 347-356.

Esswein, E. J., Snawder, J., King, B., Breitenstein, M., Alexander-Scott, M. et Kiefer, M. (2014). Evaluation of some potential chemical exposure risks during flowback operations in unconventional oil and gas extraction: preliminary results. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 11(10), D174-D184.

Gardner R. (2003). Overview and characteristics of some occupational exposures and health risks on offshore oil and gas installations. *The Annals of Occupational Hygiene*, 47(3), 201-210.

Goldstein, B. D, Brooks, B. W., Cohen, S. D., Gates, A. E., Honeycutt, M. E., Morris, J. B., ...Snawder, J. (2014). The role of toxicological science in meeting the challenges and opportunities of hydraulic fracturing. *Toxicological Sciences: an Official Journal of the Society of Toxicology*, 139(2), 271-283.

Centre international de recherche sur le cancer. (2012). *A review of human carcinogens. Chemical agents and related occupations*. Lyon, France : IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans.

Kirkeleit, J., Riise, T., Borge T., Moen, B. E., Bratveit, M. et Christiani, D. C. (2010). Increased risk of oesophageal adenocarcinoma among upstream petroleum workers. *Occupational and Environmental Medicine*, 67(5), 335-340.

Kirkeleit, J., Riise, T., Bratveit, M. et Moen, B. E. (2008). Increased risk of acute myelogenous leukemia and multiple myeloma in a historical cohort of upstream petroleum workers exposed to crude oil. *Cancer Causes Control*, 19(1), 13-23.

Korfmacher, K. S, Jones W. A., Malone, S. L. et Vinci, L. F. (2013). Public health and high volume hydraulic fracturing. *New Solutions*, 23(1), 13-31.

Lian, J. A. (2014, 25 février). A fractured view [Billet de blogue]. Récupéré de <http://www.ohscanada.com/opinions/fractured-view/>.

McFeeley, M. (2012). *State hydraulic fracturing disclosure rules and enforcement: a comparison* (Issue Brief IB: 12-06-A). Natural Resources Defense Council. Récupéré de <http://www.nrdc.org/energy/files/Fracking-Disclosure-IB.pdf>.

National Institute for Occupational Safety and Health. (2012). Oil and gas extraction. Inputs: occupational safety and health risks. Récupéré de <http://www.cdc.gov/niosh/programs/oilgas/risks.html>.

Niven, K. et McLeod, R. (2009). Offshore industry: management of health hazards in the upstream petroleum industry. *Occupational Medicine*, 59(5), 304-309.

Occupational Safety and Health Administration. (2012). OSHA-MSHA hazard alert: worker exposure to silica during hydraulic fracturing. U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration, U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention et National Institute for Occupational Safety and Health. Récupéré de https://www.osha.gov/dts/hazardalerts/hydraulic_frac_hazard_alert.html.

Occupational Safety and Health Administration. (2014). Health hazards associated with oil and gas extraction activities. Récupéré de <https://www.osha.gov/SLTC/oilgaswelldrilling/healthhazards.html>.

Rodrigues, V. F., Fischer, F. M et Brito, M. J. (2001). Shift work at a modern offshore drilling rig. *Journal of Human Ergology (Tokyo)*, 30(1-2), 167-172.

Rosenman, K. D. (2014). Hydraulic fracturing and the risk of silicosis. *Clinical Pulmonary Medicine*, 21(4), 167-172.

Ross, L., Saleem, A. et Whiteley, S. (2001). Measuring occupational exposure to hazardous chemicals in the offshore industry. Dans Crosby, A. et Davies, F. (dir.) *Proceedings of the occupational health offshore conference. Aberdeen, 27-29 March 2001* (Report OTO 2001 041, p. 151-152). Royaume-Uni : HSE Books. Récupéré de <http://www.hse.gov.uk/research/otopdf/2001/oto01041.pdf>.

Steinsvag, K., Bratveit, M. et Moen, B. E. (2007). Exposure to carcinogens for defined job categories in Norway's offshore petroleum industry, 1970 to 2005. *Occupational Environmental Medicine*, 64(4), 250-258.

Witter R. Z., Tenney, L., Clark, S. et Newman, L. S. (2014). Occupational exposures in the oil and gas extraction industry: state of the science and research recommendations. *American Journal of Industrial Medicine*, 57(7), 847-856.

Santé de la population – hydrocarbures gaziers

Brisson, G., Campagna, C., Carrier, G., Chevalier, P., Deger, L., Gauvin, D., ... Smargiassi, A. (2010). *État des connaissances sur la relation entre les activités liées au gaz de schiste et la santé publique. Rapport préliminaire*. Québec : Institut national de santé publique du Québec.

Brisson, G., Thibault, C., Gervais, M. C., Allard, R., Deger, L., Laplante, L., ... Bouchard-Bastien, E. (2013). *État des connaissances sur la relation entre les activités liées au gaz de schiste et la santé publique. Mise à jour*. Québec : Institut national de santé publique du Québec.

Ricard, S. (2003). *Cadre de référence en gestion des risques pour la santé dans le réseau québécois de la santé publique*. Québec : Institut national de santé publique du Québec.

Conclusion

Ricard, S. (2003). *Cadre de référence en gestion des risques pour la santé dans le réseau québécois de la santé publique*. Québec : Institut national de santé publique du Québec.

Annexe 1

Tableaux section eau

Contexte/Vecteurs/ Voies d'exposition	Types de contaminants ou substances pétrolières concernés	Atteintes sanitaires investiguées	Région/Type de population concernés	Type d'études	Conclusion et remarques sur les <u>mesures</u>	Référence * compatible avec le contexte québécois
I) Domaine marin						
1) Événements accidentels de plateformes de forage						
I1A) Incident du Deepwater Horizon/Exposition par contacts cutanés et par inhalation de produits pétroliers échoués sur l'estran	Pétrole brut	Atteintes hématologiques et hépatiques	Golfe du Mexique, Louisiane, É.-U./ Volontaires et travailleurs recrutés pour le nettoyage	Étude de 117 cas exposés et comparaison d'analyses sanguines (biomarqueurs) avec valeurs standards	Les participants aux opérations de nettoyage sont à risque de développer des altérations hématologiques et hépatiques. Les effets varient en fonction de l'intensité et de la durée de l'exposition. <u>Équipements protecteurs requis.</u>	*D'Andrea et Reddy, 2014
I1B) Incident du Deepwater Horizon/Exposition par contacts cutanés et par inhalation de produits pétroliers échoués sur l'estran	Pétrole brut et dispersants (COREXIT)	Atteintes hématologiques, hépatiques et somatiques	Golfe du Mexique, Louisiane, É.-U./ Cohorte recrutée pour le nettoyage des berges	Étude transversale rétrospective effectuée sur 117 individus exposés et sur 130 non exposés (établis à plus de 100 km des côtes du Golfe) et analyse des profils sanguins	Les participants aux opérations de nettoyage exposés au pétrole et aux dispersants chimiques présentent des profils sanguins altérés (diminution du BUN et plaquettes et augmentation de créatinine) ainsi que divers symptômes (maux de tête, problèmes respiratoires et cutanés, fatigue, etc.). <u>Suivi à long terme jugé pertinent.</u>	*D'Andrea et Reddy, 2013
I1C) Incident du Deepwater Horizon/ Exposition par contacts cutanés avec des produits pétroliers échoués sur l'estran	Pétrole brut et produit de dégradation	Inflammation cutanée	Golfe du Mexique, Louisiane, É.-U.	Étude animale	Les produits de dégradation du pétrole constituent des irritants cutanés, et certaines prédispositions génétiques peuvent influencer la gravité des atteintes.	* Gallucci, Kemp, Luckett-Chastain et McShan, 2014 (résumé seulement)

Contexte/Vecteurs/ Voies d'exposition	Types de contaminants ou substances pétrolières concernés	Atteinte sanitaire investiguée	Région/Type de population concernés	Type d'études	Conclusion et <u>remarques sur les mesures</u>	Référence * compatible avec le contexte québécois
I) Domaine marin – suite						
2) Naufrages de pétroliers						
I2A) Naufrage du pétrolier Prestige/Exposition par contacts cutanés, inhalation et atteintes oculaires avec les produits pétroliers échoués sur l'estran	Pétrole brut	Atteintes oculaires, nausées, vomissements, vertiges, maux de tête et problèmes respiratoires	Côtes galiciennes, Espagne/Marins, pêcheurs, travailleurs/volontaires ayant participé à la remédiation du site et au nettoyage des oiseaux	Étude transversale effectuée sur 799 individus exposés et contactés par téléphone, pas de cas témoins	Chez les personnes sans équipement de protection ou avec équipement défectueux/endommagé : évidence d'excès de risque (deux fois plus de risques en général) de manifestations cliniques.	*Carrasco <i>et al.</i> , 2006
I2B) Naufrage du pétrolier Prestige/Expositions indifférenciées avec les produits pétroliers échoués sur l'estran	Pétrole brut	Effets génotoxiques	Côtes galiciennes, Espagne/Pêcheurs volontaires ayant participé aux opérations de nettoyage de la côte	Étude de cohorte rétrospective effectuée sur 91 volontaires exposés (lors des opérations de nettoyage) et 46 non exposés; étude effectuée 2 ans après l'exposition	Faible augmentation des lésions chromosomiques entre groupe exposé et non exposé. Augmentation des altérations structurales avec la dose d'exposition chez le groupe exposé.	*Monyarch <i>et al.</i> , 2009 (résumé seulement)

Contexte/Vecteurs/ Voies d'exposition	Types de contaminants ou substances pétrolières concernés	Atteinte sanitaire investiguée	Région/Type de population concernés	Type d'études	Conclusion et remarques sur les mesures	Référence * compatible avec le contexte québécois
I) Domaine marin – suite						
2) Naufrages de pétroliers – suite						
I2C) Naufrage du pétrolier Prestige/ Exposition par contacts cutanés, inhalation et atteintes oculaires avec les produits pétroliers échoués sur l'estran	Pétrole brut # 6 comprenant notamment des HAP et des métaux lourds	Concentration plasmatique de Al, Ni et Pb (métaux lourds), perturbation de marqueurs endocriniens et effets génotoxiques (polymorphismes génétiques)	Côtes galiciennes, Espagne/ Travailleurs et volontaires impliqués dans les travaux de remédiation	Plusieurs études de cas ou de cas-témoins effectuées sur des volontaires, travailleurs ainsi que sur des individus témoins non exposés dans une de ces 4 études	L'exposition au pétrole entraîne diverses manifestations métaboliques et génétiques. Les perturbations cytogénétiques sont en lien avec la durée de l'exposition et le type d'exposition. L'usage de vêtements de protection réduit, mais n'élimine pas ces manifestations. L'usage de masques jetables en cellulose est sans effet, probablement parce que les composés volatils traversent ce type de filtre.	*Perez-Cadahia <i>et al.</i> , 2007 *Perez-Cadahia <i>et al.</i> , 2008a *Perez-Cadahia <i>et al.</i> , 2008b *Perez-Cadahia <i>et al.</i> , 2008c
I2D) Naufrage du pétrolier Prestige/ Expositions indifférenciées avec les produits pétroliers échoués sur l'estran	Pétrole brut et métaux (Cd, Zn)	Effets génotoxiques	Côtes galiciennes, Espagne/ Volontaires ayant participé aux opérations de nettoyage de la côte	Synthèse d'études originales effectuées auprès de diverses cohortes exposées au pétrole	Augmentation significative des atteintes génotoxiques (polymorphisme et dommage à l'ADN de la majorité des biomarqueurs, aberrations chromosomiques).	*Reis, Monyarch et Fuster, 2009 (résumé seulement)
I2E) Naufrage du pétrolier Prestige/ Exposition par inhalation de produits pétroliers présents dans l'eau de mer et échoués sur l'estran	Pétrole brut	Symptômes respiratoires et hypersensibilité bronchique	Côtes galiciennes, Espagne/Pêcheurs ayant participé aux opérations de nettoyage	Étude de cohorte rétrospective effectuée sur 158 individus exposés et 57 non exposés; étude effectuée 4 ans après le déversement	Des effets respiratoires persistants peuvent être observés chez les individus ayant participé au nettoyage des côtes 6 ans après l'événement, effets qui peuvent être par ailleurs réversibles.	*Zock <i>et al.</i> , 2014 (résumé seulement)

Contexte/Vecteurs/ Voies d'exposition	Types de contaminants ou substances pétrolières concernés	Atteinte sanitaire investiguée	Région/Type de population concernés	Type d'études	Conclusion et remarques sur les mesures	Référence * compatible avec le contexte québécois
I) Domaine marin – suite						
2) Naufrages de pétroliers – suite						
I2F) Naufrage du pétrolier Prestige/ Exposition par contacts cutanés et inhalation de produits pétroliers échoués sur l'estran. L'ingestion est considérée lorsqu'un repas est ingéré sans lavage des mains.	Pétrole brut # 6 contenant une proportion notable d'hydrocarbures aromatiques volatils	Irritations oculaires, respiratoires et cutanées	Côtes galiciennes, Espagne/Travailleurs et bénévoles attirés aux travaux de nettoyage	Étude transversale réalisée auprès de divers individus exposés, dont 265 travailleurs, 266 volontaires, 135 individus attirés au nettoyage des oiseaux et 133 marins	Des effets toxiques se manifestant de diverses manières sont rapportés chez les personnes exposées lors du nettoyage, le risque étant accru en fonction de la durée du travail sur place. Aucun désordre grave n'a toutefois été noté ou rapporté.	*Suarez <i>et al.</i> , 2005
I2G) Naufrage du pétrolier Hebei Spirit/Expositions indifférenciées avec les produits pétroliers échoués sur l'estran	Pétrole brut	Biomarqueurs de stress oxydatif dans l'urine (créatinine, 8-OHdG et MDA)	Comté de Taean, Corée du Sud/Population établie près des côtes contaminées (dont des gens ayant participé au nettoyage) et résidant dans les terres intérieures	Étude de cohorte effectuée chez un groupe exposé de 429 individus et de 275 non exposés	Les personnes fortement exposées au pétrole peuvent accumuler des substances telles que les HAP dans leurs tissus; ces HAP engendrent un stress oxydatif continu.	*Eom <i>et al.</i> , 2011 (résumé seulement)
I2H) Naufrage du pétrolier Hebei Spirit/Exposition par inhalation et contacts cutanéomuqueux avec les produits pétroliers échoués sur l'estran	Pétrole brut	Manifestations cliniques aiguës : céphalées, irritations oculaires et nasales, problèmes respiratoires	Comté de Taean, Corée du Sud/ Militaires enrôlés pour les travaux de remédiation	Étude transversale sans témoins : 2 624 individus exposés ayant déclaré leurs symptômes par l'entremise d'un questionnaire	Les manifestations sont proportionnelles à la durée de l'exposition. <u>Le port d'équipement de protection (gants, masques, combinaisons étanches) est recommandé; il doit cependant être porté adéquatement.</u>	*Gwack <i>et al.</i> , 2012

Contexte/Vecteurs/ Voies d'exposition	Types de contaminants ou substances pétrolières concernés	Atteinte sanitaire investiguée	Région/Type de population concernés	Type d'études	Conclusion et remarques sur les mesures	Référence * compatible avec le contexte québécois
I) Domaine marin – suite						
2) Naufrages de pétroliers – suite						
I2I) Naufrage du pétrolier Hebei Spirit/Exposition par contacts cutanés et inhalation de produits pétroliers échoués sur l'estran	Pétrole brut	Symptômes physiques (trouble de vision; irritations des sinus, des bronches et de la peau; maux abdominaux; maux de tête; fatigue; fièvre, troubles de mémoire; troubles cognitifs; métabolites urinaires	Comté de Taean, Corée du Sud/ Population locale, volontaires ayant participé au nettoyage (population générale, dont des étudiants universitaires)	Étude de cohorte effectuée sur 724 individus exposés (par l'entremise d'un questionnaire) + suivi d'un sous-groupe de 105 étudiants avant et après les travaux de nettoyage (par l'entremise de prélèvements d'urine)	Une augmentation significative des problèmes d'irritations cutanées et des concentrations d'acide muconique (dans l'urine) a été observée chez les individus impliqués dans les travaux de nettoyage. Les effets augmentent avec la durée de l'exposition. Des effets à long terme sont anticipés par les auteurs. <u>Programme de suivi à long terme des personnes exposées recommandé (cancer).</u>	*Ha <i>et al.</i> , 2012
I2J) Naufrage du pétrolier Hebei Spirit/Expositions indifférenciées avec les produits pétroliers échoués sur l'estran	Pétrole brut	Hypersensibilité chimique multiple	Comté de Taean, Corée du Sud/ Résidants impliqués dans le nettoyage des côtes	Étude transversale effectuée chez 9 077 individus	Identification d'une relation dose-réponse croissante chez les travailleurs impliqués. Cette exposition pourrait engendrer des problèmes sanitaires à long terme.	*Hae-Kwan, Byoung-Hak, Ryeon, Young-Hyun, et Woo-Chul, 2012 (résumé seulement)
I2K) Naufrage du pétrolier Tasman Spirit/Exposition par inhalation des produits pétroliers échoués sur l'estran	Composés pétroliers bruts volatils (principalement des hydrocarbures aromatiques)	Irritations oculaires, toux, gorge sèche ou irritée, irritations cutanées, fatigue générale	Karachi, Pakistan/ Résidants locaux plus ou moins exposés, en fonction de la distance de la côte touchée par le naufrage	Étude transversale effectuée auprès de 216 individus exposés (vivant en bordure de la côte) et 2 groupes témoins : à 2 km de la côte (n = 83) et 10 km (n = 101)	L'importance et la fréquence des problèmes de santé sont inversement proportionnelles à la distance du lieu de déversement du pétrole brut.	*Janjua <i>et al.</i> , 2006

Contexte/Vecteurs/ Voies d'exposition	Types de contaminants ou substances pétrolières concernés	Atteinte sanitaire investiguée	Région/Type de population concernés	Type d'études	Conclusion et <u>remarques sur les mesures</u>	Référence * compatible avec le contexte québécois
I) Domaine marin – suite						
2) Naufrages de pétroliers – suite						
I2L) Naufrage du pétrolier Hebei Spirit/Expositions indifférenciées avec les produits pétroliers échoués sur l'estran	Pétrole brut	Symptômes allergiques et atopiques	Comté de Taean, Corée du Sud/ Résidants impliqués dans le nettoyage des côtes	Étude transversale effectuée chez 9 035 individus	Relation linéaire entre la prévalence de symptômes (asthme, dermatite, rhinite, conjonctivite) et le nombre de jours travaillés et la distance par rapport au site de l'événement.	*Jeon <i>et al.</i> , 2012 (résumé seulement)
I2M) Naufrage du pétrolier Tasman Spirit/Expositions indifférenciées avec des produits pétroliers échoués sur l'estran	Pétrole brut	Symptômes atopiques et hypersensibilité chimique multiple et mesures de stress oxydatif	Karachi, Pakistan/ Résidants ayant participé aux opérations de nettoyage et enfants de la collectivité concernée	Étude transversale effectuée auprès de 9 242 adultes et de 457 jeunes étudiants	Les enfants et les résidants du secteur concerné présentent des symptômes allergiques et des marqueurs de stress oxydatif qui augmentent proportionnellement à l'exposition.	*Jeong <i>et al.</i> , 2011 (résumé seulement)
I2N) Naufrage du pétrolier Tasman Spirit/ Exposition par contacts cutanés et inhalation d'eau de mer et de sédiments côtiers contaminés	Hydrocarbures et contaminants organiques	Altération du bilan sanguin	Plage de Karachi, Pakistan/ Population locale travaillant ou résidant à proximité du site	Étude transversale effectuée auprès de 100 individus	Légère augmentation des lymphocytes éosinophiles. Augmentation (non significative) des transaminases glutamiques-pyruviques et sériques chez 11 sujets. <u>Suivi des personnes affectées tous les 3 mois pour une période de 5 ans (c.-à.-d. bilan sanguin, problèmes respiratoires et cutanés).</u>	Khurshid, Sheikh et Iqbal, 2008

Contexte/Vecteurs/ Voies d'exposition	Types de contaminants ou substances pétrolières concernés	Atteinte sanitaire investiguée	Région/Type de population concernés	Type d'études	Conclusion et remarques sur les mesures	Référence * compatible avec le contexte québécois
I) Domaine marin – suite						
2) Naufrages de pétroliers – suite						
I2O) Naufrage du pétrolier Tasman Spirit/Exposition par inhalation de produits pétroliers échoués sur l'estran	Pétrole brut et constituants dont HAP	Fonction pulmonaire	Karachi, Pakistan/ Travailleurs et population générale	Étude cas-témoins de 31 travailleurs (H) exposés lors des opérations de nettoyage et 31 hommes non exposés (établis à 15-20 km du site)	On observe des atteintes à la fonction pulmonaire (capacité vitale forcée, un volume expectoré forcé de 1 sec, un débit expectoré forcé et la ventilation volontaire maximale) chez les travailleurs exposés au pétrole; atteinte qui augmente avec la dose. <u>Équipement de protection et suivi médical périodique (prénettoyage et postnettoyage) recommandés.</u>	*Meo <i>et al.</i> , 2009
I2P) Naufrage du pétrolier Tasman Spirit/Exposition par inhalation de produits pétroliers échoués sur l'estran	Pétrole brut	Symptômes respiratoires et somatiques	Karachi, Pakistan/ Travailleurs et population générale	Étude de cohorte effectuée sur 50 travailleurs (H) exposés (lors des opérations de nettoyage) et 50 hommes non exposés (établis à 15-20 km du site).	Les personnes participant aux opérations de nettoyage des milieux côtiers présentent un risque d'être atteint de problèmes respiratoires (toux, écoulements nasaux) et somatiques (irritation oculaire, maux de gorge, maux de tête, nausées). <u>Emploi d'équipements de protection recommandé.</u>	*Meo <i>et al.</i> , 2009

Contexte/Vecteurs/ Voies d'exposition	Types de contaminants ou substances pétrolières concernés	Atteinte sanitaire investiguée	Région/Type de population concernés	Type d'études	Conclusion et remarques sur les <u>mesures</u>	Référence * compatible avec le contexte québécois
I) Domaine marin – suite						
2) Naufrages de pétroliers – suite						
I2Q) Naufrage du pétrolier Tasman Spirit/Exposition par inhalation de produits pétroliers échoués sur l'estran	Pétrole brut	Atteinte à la fonction respiratoire	Karachi, Pakistan/Travailleurs et population générale	Étude transversale rétrospective sur 20 travailleurs (H) exposés lors des opérations de nettoyage et de 31 hommes non exposés	Les sujets exposés présentent une capacité vitale forcée, un volume expectoré forcé de 1 sec, un débit expectoré forcé et la ventilation volontaire maximale significativement inférieure au groupe non exposé. <u>Équipement de protection et suivi médical périodique recommandés.</u>	*Meo, Al-Drees, Meo, Al-Saadi et Azeem, 2008
I2R) Naufrage du pétrolier Hebei Spirit/Expositions indifférenciées avec les produits pétroliers échoués sur l'estran	Pétrole brut	Symptômes somatiques divers (atteintes respiratoires; irritations oculaires, cutanées; céphalées; etc.)	Comté de Taean, Corée du Sud/ Résidants, volontaires et travailleurs impliqués dans le nettoyage des côtes	Étude transversale effectuée sur 846 individus exposés	L'exposition au pétrole est associée à des problèmes de santé dont l'ampleur augmente avec la fréquence des contacts. <u>Il est recommandé d'effectuer une large étude épidémiologique en lien avec ce déversement.</u>	*Sim, Jo et Song, 2010
I2S) Naufrage du pétrolier Erica/ Expositions par ingestion et inhalation, et contacts cutanés avec les produits pétroliers échoués sur l'estran	Pétrole # 6 et composantes	Potentiel cancérigène (peau); irritations oculaires, cutanées; dermatites	Penmarch, Brittany, France/ Travailleurs ayant participé au nettoyage (dont des volontaires), population locale et touristes (baigneurs)	Analyse de risque	Le risque sanitaire ne s'avère limité qu'aux personnes ayant manipulé le pétrole à mains nues.	*Baars, 2002

Contexte/Vecteurs/ Voies d'exposition	Types de contaminants ou substances pétrolières concernés	Atteinte sanitaire investiguée	Région/Type de population concernés	Type d'études	Conclusion et remarques sur les mesures	Référence * compatible avec le contexte québécois
I) Domaine marin – suite						
2) Naufrages de pétroliers – suite						
I2T) Naufrage du pétrolier Erica/ Exposition par ingestion et contacts cutanés avec les produits pétroliers échoués sur l'estran	HAP	Potentiel léthal, cancérigène (tout organe et peau), tératogène, irritations oculaires, cutanées, dermatites	Penmarch, Brittany, France/ Population locale et touristes (enfants et adultes, baigneurs) et travailleurs ayant nettoyé les plages durant l'été suivant le naufrage	Analyse de risque	Les risques sanitaires demeurent faibles pour les populations concernées. <u>Nécessité d'établir le <i>bruit de fond</i> et les taux d'absorption de certains substrats biologiques afin de mieux apprécier les excès de risque.</u>	*Dor <i>et al.</i> , 2003
I2U) Naufrage du pétrolier Erica	Pétrole #2 et bunker #6	Effets génotoxique, cancérigène et inflammatoire	Penmarch, Brittany, France	Étude en laboratoire : exposition de cellules humaines (poumons, foie) au pétrole concerné	L'exposition de cellules au pétrole a permis de démontrer le potentiel génotoxique et inflammatoire de ce type d'hydrocarbure. <u>Considérer la voie de l'inhalation afin de minimiser les atteintes sanitaires.</u>	*Amat-Bronnert, Castegnaro et Pfohl-Leszkowicz, 2007
I2V) Naufrage du pétrolier Erica/ Exposition par inhalation et par contacts cutanés avec les produits pétroliers échoués sur l'estran	Pétrole # 2 (issu de la distillation de pétrole brut), contenant des hydrocarbures aromatiques, volatils et des métaux lourds	Céphalées, irritations cutanées et oculaires, atteintes respiratoires	Penmarch, Brittany, France/ Bénévoles et travailleurs professionnels affectés aux travaux de nettoyage	Étude transversale portant sur 1 465 individus exposés	Les auteurs rapportent l'existence d'un lien entre la réalisation de travaux de nettoyage et les atteintes rapportées	*Schvoerer <i>et al.</i> , 2000

Contexte/Vecteurs/ Voies d'exposition	Types de contaminants ou substances pétrolières concernés	Atteinte sanitaire investiguée	Région/Type de population concernés	Type d'études	Conclusion et remarques sur les mesures	Référence * compatible avec le contexte québécois
I) Domaine marin – suite						
2) Naufrages de pétroliers – suite						
I2W) Naufrage du Braer/ Exposition par inhalation des produits pétroliers	Pétrole brut	Céphalées, irritations respiratoires et oculaires. Modification de marqueurs biologiques (urinaires, formule sanguine et enzymes hépatiques)	Shetland, Écosse/ Résidants exposés	Étude de cohorte effectuée auprès de résidants exposés (demeurant à moins de 4,5 km du rivage souillé) et témoins (demeurant à 95 km du lieu de l'événement)	Les auteurs rapportent des symptômes mineurs pendant les 2 journées suivant le naufrage	Campbell <i>Brewster</i> , 1993
I2X) Naufrage du pétrolier Sea Empress/ Exposition par inhalation des produits pétroliers	Pétrole brut	Céphalées, picotement des yeux et irritations de la gorge	Pembrokeshire, Royaume-Uni/ Résidants exposés	Étude de cohorte réalisée auprès de 539 individus exposés et 550 témoins	Les principales manifestations cliniques observées sont compatibles avec les effets toxiques attendus des composés du pétrole brut	Lyons, Temple, Evans, Fone et Palmer, 1999

Contexte/Vecteurs/ Voies d'exposition	Types de contaminants ou substances pétrolières concernés	Atteinte sanitaire investiguée	Région/Type de population concernés	Type d'étude	Conclusion et remarques sur les mesures	Référence * compatible avec le contexte québécois
1) Domaine marin – suite						
2) Naufrages de pétroliers – suite						
I2Y) Naufrage d'un pétrolier/ Expositions indifférenciées avec les produits pétroliers déversés dans l'environnement côtier	Pétrole brut iranien	Maux de tête, irritations oculaires et respiratoires	Port de Karachi/ Étudiants et employés de l'université de Karachi	Étude transversale effectuée auprès de 369 individus	La population locale a subi des atteintes sanitaires suite au déversement	*Kazmi et Usman, 2004 (résumé seulement)

Contexte/Vecteurs/ Voies d'exposition	Types de contaminants ou substances pétrolières concernés	Atteinte sanitaire investiguée	Région/Type de population concernés	Type d'étude	Conclusion et remarques sur les mesures	Référence * compatible avec le contexte québécois
I) Domaine marin – suite						
3) Événements accidentels marins						
I3A) Naufrages (7) de pétroliers/ Exposition par inhalation et par contacts cutanéomuqueux avec des produits pétroliers échoués sur l'estran	Pétrole brut et COV ainsi que métaux lourds associés	Effets génotoxiques, perturbations enzymatiques, accumulation de métaux lourds plasmatiques	Régions limitrophes des lieux de déversement de pétrole/ Volontaires et travailleurs recrutés pour nettoyage/remédiation	Analyse d'études épidémiologiques transversales, avec individus exposés et témoins	L'exposition engendre des dommages à l'ADN, modifications de la concentration de certaines enzymes et hormones (prolactine et cortisol), augmentation plasmatique de certains métaux lourds (AL, Cd, Ni, Pb, Zn)	*Aguilera Méndez, Pásaroa et Laffon, 2010
I3B) Modélisation d'un scénario de déversement/ Exposition par inhalation et contacts cutanés avec des produits pétroliers	Pétrole brut	Symptômes respiratoires	Three Gorges reservoir, Jialing River, China/ Population de Chine indifférenciée	Analyse de risque, simulation numérique	L'élaboration d'un modèle <u>peut soutenir les autorités pour optimiser la gestion d'éventuels incidents et minimiser les conséquences.</u>	*Bi et Si, 2012
I3C) Naufrages (8), rupture de pipeline (1), explosion de plateformes de forage (1)/ Exposition par contacts cutanés avec substrats contaminés et inhalation de composants volatils	Pétrole brut + dispersants dans certains cas	Divers symptômes : (céphalées, problèmes respiratoires, rash cutané, fatigue) + perturbations composition formule sanguine/urinaire et enzymes hépatiques	Diverses régions en périphérie des incidents/ Volontaires/travailleurs affectés à la remédiation des lieux et populations locales	Revue de la littérature (1989-2014). Certaines études cas/témoins, plusieurs avec cas seuls (environ 2 000 cas, quelques centaines de témoins)	La dispersion de pétrole brut dans l'environnement entraîne des perturbations physiologiques avec manifestations cliniques Symptômes similaires chez travailleurs et volontaires.	*D'Andrea et Reddy, 2014

Contexte/Vecteurs/ Voies d'exposition	Types de contaminants ou substances pétrolières concernés	Atteinte sanitaire investiguée	Région/Type de population concernés	Type d'étude	Conclusion et remarques sur les mesures	Référence * compatible avec le contexte québécois
I) Domaine marin – suite						
3) Événements accidentels marins – suite						
I3D) Incident de la plateforme Deepwater Horizon, comparé avec échouements (6) de pétroliers/ Exposition par inhalation et contacts cutané- muqueux avec les produits pétroliers échoués sur l'estran	Pétrole brut + dispersants	Céphalées, irritations oculaires et nasales, irritations cutanées, nausées	Régions limitrophes des lieux de déversement de pétrole/ Travailleurs, volontaires et membres de la communauté impliqués dans la remédiation	Analyse de la situation consécutive à l'explosion de la plateforme : 441 individus exposés et 103 non exposés. Comparaisons avec résultats de 6 naufrages de navires.	Il y a évidence de manifestations cliniques diverses chez les individus exposés, avec un lien plus faible pour les manifestations neurologiques (céphalées, faiblesse, vertiges). L'exposition aux produits pétroliers ne causerait pas de pathologies neurologiques importantes comme des convulsions ou des neuropathies périphériques.	*Goldstein, Osofsky et Lichtveld, 2011
I3E) Naufrages de pétroliers et explosion de la plateforme Deepwater Horizon/Exposition par inhalation et contacts cutané- muqueux avec des produits pétroliers échoués sur l'estran	Pétrole brut (composés liquides et volatils)	Céphalées, inflammations nasales, de la gorge et oculaires, nausées, lésions cutanées	Régions limitrophes des lieux de déversement de pétrole/ Travailleurs et volontaires affectés au nettoyage ainsi que les résidents locaux	Revue de littérature intégrant 4 344 individus exposés à divers degrés ainsi que 1 086 individus non exposés	Nonobstant la nature des déversements, la composition du pétrole brut, la nature et la durée de l'exposition, des patrons similaires de symptômes cliniques ont été rapportés chez les individus exposés aux substances pétrolières.	*Levy et Nassetta, 2011

Contexte/Vecteurs/ Voies d'exposition	Types de contaminants ou substances pétrolières concernés	Atteinte sanitaire investiguée	Région/Type de populations concernés	Type d'étude	Conclusion et remarques sur les mesures	Référence * compatible avec le contexte québécois
I) Domaine marin – suite						
4) Champs pétroliers marins (opérations régulières)						
I4A) Production pétrolière et gazifière marine en condition normale/ Exposition par ingestion de poissons touchés par la contamination chimique disséminée dans l'eau de mer	HAP	Risque cancérigène	Population canadienne	Analyse de risque (simulation de Monte Carlo)	L'indice de risque maximal calculé, associé à la présence de HAP dans les poissons (issus des eaux d'exploitation du pétrole), excède le seuil de concentration acceptable défini par la US EPA. Le 95 ^e percentile de la distribution de risque demeure cependant inférieur à ce seuil.	*Chowdhury, Husain, Veitch et Hawboldt, 2009
I4B) Production pétrolière et gazifière marine en condition normale/ Exposition par ingestion de poissons touchés par la contamination radiologique disséminée dans l'eau de mer	Radionucléides (isotopes du radium, ²²⁶ Ra et ²²⁸ Ra)	Risque cancérigène	Population canadienne	Analyse de risque (simulation de Monte Carlo)	Le risque associé à la présence de Ra dans le poisson (affecté par les eaux issues de l'exploitation du pétrole) demeure à l'intérieur des limites prévues par le cadre réglementaire. En revanche, les potentialités d'effets à long terme ne peuvent pas être cependant totalement ignorées.	*Shakhawat, Tahir et Neil, 2006

Contexte/Vecteurs/ Voies d'exposition	Types de contaminants ou substances pétrolières concernés	Atteinte sanitaire investiguée	Région/Type de population concernés	Type d'étude	Conclusion et remarques sur les mesures	Référence * compatible avec le contexte québécois
II) Domaine terrestre						
5) Ruptures d'oléoducs						
II5A) Rupture de l'oléoduc de Ibom Idoho/Exposition par contacts cutanés et ingestion d'eau (surface et côtière), de sédiments et de sols contaminés	Pétrole brut et produits de dégradation	Maux de tête, maux de gorge, irritations oculaires et cutanées, nausées, vomissements, douleurs abdominales, diarrhées	État du Akwa Ibom, États du Lago, Nigeria/ Populations locales exposées et non exposées	Étude de cohorte rétrospective effectuée sur 17 240 individus issus de 3 communautés exposées et sur 1 706 individus de 3 communautés non exposées	Des effets gastro-intestinaux sont observés dans les populations exposées. <u>Considérer les caractéristiques socioéconomiques des populations touchées par des déversements afin de dresser un juste bilan des impacts sanitaires.</u>	Akinyede, Akintonwa, Olayemi et Emeka, 2006
II5B) Rupture de l'oléoduc d'Endbridge/ Exposition indéterminée aux produits pétroliers déversés	Pétrole brut de l'Alberta (Crude oil, heavy) issu des sables bitumineux	Céphalées, problèmes gastro-intestinaux (surtout nausées), toux et gêne respiratoire	Michigan, É.-U./ Résidants exposés	Étude rétrospective effectuée auprès de 145 individus qui se sont présentés dans un centre médical + 320 répondants dans le cadre de visites aux résidences	Les symptômes rapportés sont compatibles et cohérents avec les rapports de la littérature scientifique quant à l'exposition au pétrole brut.	Stanbury <i>et al.</i> , 2010

Contexte/Vecteurs/ Voies d'exposition	Types de contaminants ou substances pétrolières concernés	Atteinte sanitaire investiguée	Région/Type de population concernés	Type d'étude	Conclusion et remarques sur les mesures	Référence * compatible avec le contexte québécois
II) Domaine terrestre – suite						
6) Champs pétroliers terrestres (opérations régulières)						
II6A) Champ pétrolier en exploitation/ Exposition par ingestion d'eau souterraine et de surface servant de sources en eau potable	Radionucléides (radium et potassium radioactifs) associés au pétrole dans le sol près des lieux de forage	Risques toxicologiques et cancérigènes	Nigeria/ Populations locales	Analyse de risque	Les concentrations en radionucléides associées au pétrole et naturellement présentes dans l'eau potable d'origine souterraine sont supérieures aux limites permises par l'OMS.	Agbalagba, Avwiri et Ononugbo, 2013
II6B) Champ pétrolier en exploitation/ Exposition par contacts directs et indirects avec le pétrole extrait	Radionucléides (uranium, thorium et potassium radioactifs; ²³⁸ U, ²³² Th, ⁴⁰ K) et métaux (As, Cd, Co, Fe, Mn, Ni, Se, V) présents dans le pétrole brut	Risques cancérigènes, neurotoxiques, hépatotoxiques et rénaux	Delta du Niger, Nigeria/ Population locale	Analyse de risque	La radioactivité associée au pétrole du Nigeria ne pose pas un risque radiologique pour la population. Les métaux, également présents à de faibles concentrations, pourraient poser un risque sanitaire par l'entremise de la bioaccumulation.	Ajayi, Torto, Tchokossa et Akinlua, 2009
II6C) Champ pétrolier en exploitation/ Exposition par contacts cutanés et ingestion d'eau de pluie, souterraine et de surface contaminée sous l'influence des retombées de torchères de gaz associés à l'extraction de pétrole brut	Substances pétrolières modifiées par brûlage par les torchères (oxydation thermique) de pétrole brut et émission de sulfates, bicarbonates et nitrates	Effets sanitaires indifférenciés	Nigeria, populations locales	Analyse de risque	Les substances contenues dans les émanations des torchères produisent de la pluie acide et contaminent l'eau de surface et souterraine. Les effets sur la santé sont indirects, associés à la dégradation générale de la qualité de l'eau.	Akobundu, 2014

Contexte/Vecteurs/ Voies d'exposition	Types de contaminants ou substances pétrolières concernés	Atteinte sanitaire investiguée	Région/Type de population concernés	Type d'étude	Conclusion et remarques sur les <u>mesures</u>	Référence * compatible avec le contexte québécois
II) Domaine terrestre – suite						
6) Champs pétroliers terrestres (opérations régulières) – suite						
II6D) Champs pétroliers en exploitation/ Exposition corporelle au rayonnement gamma en provenance du sol et ingestion d'eau d'origine locale	Radionucléides (uranium, radium, potassium, thorium, césium, plomb radioactifs) d'origine naturelle présents dans les sols, l'eau de surface et souterraine de la région	Risques cancérogènes	District de Mfantseman, Ghana/Population de 4 communautés établies près de la ville de Slatpond	Analyse de risque	Le niveau d'exposition est inférieur au niveau recommandé par la ICPR (1 mSv) et sous les recommandations de l'OMS concernant l'activité alpha et bêta dans l'eau potable. L'activité pétrolière n'aurait pas d'incidence significative sur ce type d'exposition. <i>Évaluer le bruit de fond.</i>	*Kpeglo <i>et al.</i> , 2014
II6E) Déversements/ Expositions populationnelles indifférenciées	Pétrole et constituants	Présence de métabolites de produits pétroliers dans les urines	ND	Étude de cohorte (biosurveillance)	L'analyse a permis de déceler la présence de perturbateurs endocriniens et d'anticiper de potentiels effets physiologiques.	*Lee <i>et al.</i> , 2010 (résumé seulement)
II6F) Champ pétrolier en exploitation/ Expositions indifférenciées à l'eau souterraine résultant de la présence de pétrole brut dans l'environnement habité	Pétrole brut léger qui se mélange facilement à l'eau souterraine et de surface; présence de microorganismes pathogènes dont la croissance est stimulée par la contamination	Irritations cutanées, vertiges, irritations de la gorge, céphalées	Delta du Niger, Nigeria/Population locale utilisant l'eau souterraine à diverses fins domestiques	Sommaire de l'état de situation dans le delta du Niger	L'eau contaminée par le pétrole brut représente un risque pour la santé.	Nriagu, 2011

Contexte/Vecteurs/ Voies d'exposition	Types de contaminants ou substances pétrolières concernés	Atteinte sanitaire investiguée	Région/Type de population concernés	Type d'étude	Conclusion et remarques sur les mesures	Référence * compatible avec le contexte québécois
II) Domaine terrestre – suite						
6) Champs pétroliers terrestres (opérations régulières) – suite						
II6G) Champ pétrolier en exploitation/ Exposition par ingestion et contacts cutanés et inhalation de produits présents dans l'eau de surface et souterraine contaminée par des déversements dans l'environnement	Pétrole brut, HAP, NORM (radionucléides) et métaux	Risques sanitaires divers (ex. : cancers, diarrhées, irritations oculaires, cutanées, respiratoires, etc.)	Delta du Niger; Nigeria/Population régionale	Revue de littérature	Les déversements d'huile engendrent des effets sanitaires aigus et chroniques pour les populations exposées. <u>Un suivi médical à long terme des populations exposées est recommandé.</u>	Ordinoha et Brisibe, 2013
II6H) Champ pétrolier en exploitation/ Exposition par contacts cutanés, inhalation et ingestion d'eau de surface contaminée par des déversements dans l'environnement	Hydrocarbures totaux	Effet sur la reproduction	Bassin de l'Amazone, Équateur/ Communautés rurales exposées aux champs pétroliers et non exposées	Étude transversale effectuée sur des femmes (17-45 ans) exposées (365) et non exposées (283) ayant connu 3 grossesses et plus	Malgré la présence d'hydrocarbures à des concentrations supérieures aux limites acceptables définies par la Communauté européenne, aucune association significative observée entre la prévalence d'enfants mort-nés et l'exposition. Ce risque demeure toutefois présent, et la décontamination du secteur est jugée pertinente.	San Sebastian <i>et al.</i> , 2002

Contexte/Vecteurs/ Voies d'exposition	Type de contaminants ou substances pétrolières concernés	Atteinte sanitaire investiguée	Région/Type de population concernés	Type d'étude	Conclusion et remarques sur les mesures	Référence * compatible avec le contexte québécois
II) Domaine terrestre – suite						
6) Champs pétroliers terrestres (opérations régulières) – suite						
II6I) Gisement pétrolier à ciel ouvert en exploitation/ Exposition par contacts cutanés et inhalation de produits pétroliers bruts et sous-produits (exposition à faible dose)	Pétrole brut et sous-produits présents dans les sables bitumineux (métaux et BTEX)	Maladies auto-immunes, présence de métabolites toxiques	Fort McMurry, Alberta, Canada/ Travailleurs volontaires de l'industrie pétrolière résidant près du gisement et citoyens de Lethbridge situés à 668 km au sud du site	Étude de cohorte effectuée sur 214 individus exposés et 30 non exposés	Pas d'association rapportée entre ce type d'exposition et la prévalence de symptômes, de maladies ou de réponses auto-immunes spécifiques dans cette population. <u>Suivi de la population exposée à long terme jugé pertinent.</u>	*Schoenroth et Fritzier, 2004
II6J) Production gazière et terrestre en condition normale/ Exposition par ingestion d'eau souterraine contaminée par des fuites et des déversements ponctuels dans l'environnement	BTEX, benzène, NAPL	Risque cancérigène	Coleville, Saskatchewan, Canada/ Population locale	Analyse de risque	Dans la limite des incertitudes, des conditions et des paramètres de modélisation, l'analyse effectuée montre un risque de contamination significatif de la nappe phréatique qui justifie une intervention immédiate.	*Zhang et Huang, 2011

Annexe 2

Connaissances à acquérir et activités à mettre en place afin de gérer les risques pour la santé et la sécurité des travailleurs, selon l'évolution de l'implantation de l'industrie pétrolière au Québec

Évolution de l'implantation de l'industrie pétrolière au Québec

Préimplantation	Pendant	Postimplantation
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Déterminer les instances responsables de la prévention dans ce secteur d'activités.* ◆ Clarifier les rôles et les leviers légaux des intervenants en prévention et s'assurer que leur expertise pour évaluer les risques professionnels est adéquate.*/** ◆ Documenter davantage les risques découlant des procédés, des méthodes de travail et des produits utilisés ainsi que les interventions efficaces visant la prévention de ces risques.* 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Caractérisation de l'exposition aux divers contaminants chimiques (silice, benzène, sulfure d'hydrogène, matières particulaires de diesel, fluides de forage, radionucléides, fluides de résurgence) ainsi qu'aux risques physiques (bruit intense, vibrations, contraintes biomécaniques), et ce, aux différents postes de travail.** ◆ Rendre accessibles les informations sur les constituants des fluides de forage et de fracturation hydraulique.** ◆ Assurer une gestion sécuritaire des fluides de résurgence issus des opérations de fracturation hydraulique.** ◆ Surveiller l'exposition des travailleurs dans les industries connexes, par exemple, celles de l'extraction de la silice ou du ramassage de déchets industriels.** 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Assurer la protection des travailleurs en évaluant l'efficacité des interventions réalisées dans l'industrie pour réduire l'exposition.**
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Implanter un système de surveillance des accidents et des maladies professionnels.** ◆ Instaurer une politique de sécurité pour la prévention des accidents de véhicules et des risques d'explosion et d'incendie.** ◆ Documenter les effets à long terme de certains risques sur la santé des travailleurs (mélange BTEX, fluides de résurgence, radionucléides, etc.).* 		
	<ul style="list-style-type: none"> ◆ S'assurer que les informations concernant les mesures de contrôle de l'exposition sont à jour.** ◆ Promouvoir la collaboration entre l'industrie et les milieux universitaires pour la recherche de solutions.** 	

* Connaissances à acquérir.

** Activités à mettre en place.

services maladies infectieuses santé services
et innovation microbiologie toxicologie prévention des maladies chroniques
santé au travail innovation santé au travail impact des politiques publiques
impact des politiques publiques développement des personnes et des communautés
promotion de saines habitudes de vie recherche services
santé au travail promotion, prévention et protection de la santé impact des politiques
sur les déterminants de la santé recherche et innovation services de laboratoire et diagnostic
recherche surveillance de l'état de santé de la population

www.inspq.qc.ca