



---

**Ingénieur du Génie Sanitaire**

Promotion : **2008-2009**

Date du Jury : **28 septembre 2009**

---

**Puits canadiens/provençaux et qualité de  
l'air intérieur :  
Analyse des dégradations potentielles.**

---

**Lucie TOME**

**Lieu du Stage: CETIAT (Villeurbanne)**

**Référent professionnel : Julien HEINTZ**

**Référent pédagogique : Philippe GLORENNEC**

---

# Remerciements

---

Je remercie tout d'abord mon tuteur professionnel, Julien HEINTZ (CETIAT), pour son aide et sa disponibilité tout au long de ce stage ainsi que Florence PROHARAM (GDF SUEZ) qui a suivi l'étude.

Merci également aux différents experts qui ont accepté de répondre à mes questions : Laure SCHWENZFEIER pour la ventilation (CETIAT), Alain GINESTET pour les systèmes de traitement de l'air (CETIAT), Alain GUEDEL pour les ventilateurs (CETIAT).

Merci aux membres de l'équipe pédagogique qui m'ont aidé : mon tuteur Philippe GLORENNEC (EHESP), Christophe GOERY (EHESP) et Pierre LECANN (EHESP).

Merci aux professionnels et utilisateurs de puits canadiens qui ont pris un peu de leur temps pour répondre à mes questions et me faire partager leur expérience et plus particulièrement à M. FOUQUY qui nous a accueillis chez lui pour voir son installation.

Enfin merci à mes camarades de promotion avec lesquels j'ai pu échanger tout au long de mon stage et discuter des difficultés que nous rencontrons.

---

## Abstract

---

The earth-to-air heat exchangers are geothermal systems of Heating Ventilation and Air-Conditioning using the earth's thermal potential. Few information exists concerning the air quality within this kind of exchanger. However the question can be asked.

That is why CETIAT (centre techniques des industries aéronautique et thermiques) in partnership with GDF SUEZ, make a study to evaluate the health risks linked to the earth-to-air tunnels using. The first part of this study which corresponds to this report, aims to identify and to analyse the agents and the factors of indoor air quality deteriorations at output point of the earth-to-air tunnel.

A literature review has underlined a significant lack of data. So the study is based on a logical and progressive personnel thought. The sources of potential deteriorations are identified: soil, outdoor air and earth-to-air tunnel's materials. A non exhaustive list of agents of potential deteriorations is set it off against: physical agents, chemical agent and biological agents. Environmental, humans or technical factors responsible for these deteriorations are identified by causal tree analysis.

Given the number and the diversity of identified agents and factors, the totality of health risks can't be evaluated. They must be ranked depending on their priority for the course of study. The ratings are founded, for the agents, on data which characterise the occupants' exposition and the health effects, and, for the factors, on a failure mode and effects analysis.

The ratings obtained are very sensible. They are functions of data's quality, criteria taken into account and the evaluator assessment.

The number of agents, factors and parameters to take into account and the data's lack are not in support of a quantitative health risk assessment. Nevertheless, suggestions and recommendations for the choice of the earth-to-air tunnel's implantation, its conception, its design, its realisation, its care and its using, can already be given coming out this study. Advises for results' communication and dangers managing are also expressed.

**Key words:**

Indoor Air Pollution, Heating Ventilation and Air-Conditioning, Earth-to-Air Heat Exchanger, Health Risk Assessment.

---

# Sommaire

---

<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>- 1 -</b>
<b>1 QUALITE DE L’AIR INTERIEUR ET PUIITS CANADIENS</b> .....	<b>- 3 -</b>
1.1 PUIITS CANADIENS .....	- 3 -
1.1.1 Principe de fonctionnement et description du système.....	- 3 -
1.1.2 Mise en évidence des spécificités du puits canadien .....	- 7 -
1.2 QUALITE DE L’AIR INTERIEUR.....	- 9 -
1.2.1 Enjeu de santé publique.....	- 9 -
1.2.2 État des lieux .....	- 10 -
1.2.3 Sources de pollution et les principaux polluants.....	- 10 -
1.3 VENTILATION .....	- 11 -
1.3.1 État des lieux .....	- 11 -
1.3.2 Réglementation.....	- 11 -
1.3.3 Différents systèmes de ventilation.....	- 11 -
1.4 ÉCONOMIES D’ENERGIES.....	- 12 -
1.4.1 État des lieux .....	- 12 -
1.4.2 Réglementation thermique.....	- 12 -
1.5 SYNTHÈSE DES INFORMATIONS CONCERNANT LA QAI EN SORTIE DE PUIITS CANADIEN.....	- 13 -
1.5.1 Impacts du puits canadiens sur la qualité de l’air intérieur.....	- 13 -
1.5.2 Impacts de la conception, du dimensionnement, de la mise en œuvre et de l’entretien sur la qualité de l’air intérieur et préconisations.....	- 15 -
<b>2 CARACTERISATION DES DEGRADATIONS POTENTIELLES</b> .....	<b>- 17 -</b>
2.1 IDENTIFICATION DES DEGRADATIONS DE LA QAI .....	- 17 -
2.1.1 Définition d’une dégradation de la QAI en sortie de puits canadien .....	- 17 -
2.1.2 Présentation de la démarche .....	- 17 -
2.1.3 Présentation des résultats.....	- 17 -
2.2 IDENTIFICATION DES SOURCES ET DES FACTEURS DE DEGRADATION .....	- 18 -
2.2.1 Définition d’une source et d’un facteur de dégradation.....	- 18 -
2.2.2 Présentation de la démarche .....	- 18 -
2.2.3 Présentation des résultats.....	- 19 -
2.3 IDENTIFICATION DES AGENTS DE DEGRADATION DE LA QAI.....	- 19 -
2.3.1 Agents physiques.....	- 20 -
2.3.2 Agents chimiques .....	- 20 -
2.3.3 Agents d’origine biologique .....	- 20 -
2.3.4 Dégradations physiques.....	- 21 -
2.4 CONDITION DE PRESENCE DES AGENTS DE DEGRADATION DE LA QAI.....	- 21 -
2.4.1 Les agents provenant de l’air extérieur.....	- 21 -

2.4.2	Agents provenant du sol.....	- 22 -
2.4.3	Les agents provenant des matériaux.....	- 23 -
2.5	CARACTERISATION DES EFFETS POTENTIELS SUR LA SANTE ET LE CONFORT .....	- 23 -
2.6	DEFINITION DE L'EXPOSITION.....	- 23 -
2.6.2	Effets sur la santé .....	- 25 -
2.6.3	Effets sur le confort.....	- 27 -
2.7	Interprétation et discussion des résultats .....	- 27 -
<b>3</b>	<b>HIERARCHISATION DES AGENTS DE DEGRADATIONS DE LA QAI ET DE LEURS</b>	
	<b>FACTEURS.....</b>	<b>- 29 -</b>
3.1	CLASSEMENT DES AGENTS DE DEGRADATIONS DE LA QAI.....	- 29 -
3.1.1	Choix et définition des critères.....	- 29 -
3.1.2	Définition d'un indice d'exposition et d'un indice sanitaire .....	- 33 -
3.1.3	Choix et utilisation du système de notation.....	- 33 -
3.1.4	Résultats du classement.....	- 34 -
3.1.5	Limites et sensibilité des résultats .....	- 35 -
3.1.6	Interprétation et discussion des résultats .....	- 35 -
3.2	CLASSEMENT DES FACTEURS HUMAINS ET TECHNIQUES DE DEGRADATIONS .....	- 36 -
3.2.1	Définition des facteurs humains et techniques de dégradation.....	- 36 -
3.2.2	Utilisation de la méthode AMDEC .....	- 36 -
3.2.3	Choix et définition des critères.....	- 37 -
3.2.4	Résultats du classement.....	- 39 -
3.2.5	Analyse de sensibilité des résultats .....	- 39 -
3.2.6	Interprétation et discussion des résultats .....	- 39 -
<b>4</b>	<b>PRECONISATIONS ET PERSPECTIVES.....</b>	<b>- 41 -</b>
4.1	POURSUITE DE L'ETUDE.....	- 41 -
4.1.1	Problématiques.....	- 41 -
4.1.2	Éléments à compléter en poursuivant l'étude.....	- 43 -
4.1.3	Évaluation quantitative des risques sanitaires (EQRS) .....	- 44 -
4.2	ÉTUDE DE L'IMPACT DE LA FILTRATION .....	- 47 -
4.2.1	Impact de la localisation de la filtration .....	- 47 -
4.2.2	Impact du nombre et de la taille de coupure.....	- 48 -
4.3	EXPLOITATION DES RESULTATS.....	- 48 -
4.3.1	Conseils et préconisations pour les professionnels et les utilisateurs.....	- 48 -
4.3.2	Propositions de moyens de communiquer les résultats .....	- 49 -
	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>- 51 -</b>
	<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>- 53 -</b>
	<b>LISTE DES ANNEXES .....</b>	<b>- 69 -</b>

---

## Liste des sigles utilisés

---

**ADEME** : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

**AFSSET** : Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail

**AMDEC** : Analyse des Modes de Défaillances

**ATSDR** : Agency For Toxic Substances And Disease Registry

**CAV** : Composés aromatiques volatiles

**CIRC** : Centre International de Recherche sur le Cancer

**CETIAT** : Centre Techniques des Industries Aérauliques et thermiques

**COHV** : Composés Organiques Volatils Halogénés

**COV** : Composés organiques volatils non halogénés

**COVm** : Composés Organiques Volatils d'origine Microbiologique

**GDF SUEZ** : Gaz De France Suez

**FTE** : Fumée de Tabac Environnementale

**ELISA** : Enzyme Linked ImmunoSorbent Assay

**EQRS** : Évaluation Quantitative des Risques Sanitaires

**ERI** : Excès de Risque Individuel

**ERU** : Excès de Risque Unitaire

**ERUi** : Excès de Risque Unitaire par Inhalation

**ERUo** : Excès de Risque Unitaire par voie orale

**HAP** : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

**Ie** : Indice d'Exposition

**INERIS** : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques

**INRS** : Institut National de Recherche et de

Sécurité

**InVS** : Institut de Veille Sanitaire

**Is** : Indice sanitaire

**IS** : Impact Sanitaire

**NOAEL** : No Observed Adverse Effect Level

**Nox** : Oxydes d'azote

**OEHHA** : Office of Environmental Health Hazard Assessment

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé

**OQAI** : Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur

**PE** : Polyéthylène

**PM 10** : Particulate Matter 10 = Particules fines de diamètre inférieur ou égal à 10 µm

**PM 2,5** : Particulate Matter 2,5 = Particules fines de diamètre inférieur ou égal à 2,5 µm

**PP** : Polypropylène

**PVC** : Polychlorure de vinyle

**TPC (gaine)** : gaines en polyéthylène utilisées habituellement pour les réseaux électriques

**QAI** : Qualité de l'Air Intérieur

**QD** : Quotient de danger

**REL** : Reference Exposure Levels

**RfC** : Reference Concentration

**RfD** : Reference Dose

**RIVM** : Rijksinstituut voor Volksgezondheit en Milieu

**RSDT** : Règlement Sanitaire Départemental

**RT** : Réglementation Thermique

**SNC** : Système Nerveux Central

**US EPA** : United States Environmental Protection Agency

**VMC** : Ventilation mécanique contrôlée

**VRD** : Voirie et Réseaux Divers

**VTR** : Valeur Toxicologique de Référence

---

## Liste des figures

---

Figure 1 : Schéma d'un puits canadien avec ses quatre éléments : la prise d'air neuf, le conduit de l'échangeur géothermique, le système d'évacuation des condensats et le ventilateur.....	- 3 -
Figure 2 : Présentation des différentes configurations fréquemment utilisées pour les puits canadiens (d'après Sodielec-Berger) .....	- 5 -
Figure 3 : Schéma de la source et des facteurs aboutissant à une dégradation de la QAI...-	18 -
Figure 4 : Classement des sources de dégradation de la QAI liées au puits canadien en fonction de leur indice d'exposition et de leur indice sanitaire .....	- 34 -

---

## Liste des tableaux

---

Tableau 1 : Classement des probabilités de survenue des dégradations de la QAI en lien avec les puits canadiens.....	- 30 -
Tableau 2 Nature des agents les plus souvent retrouvés (BASOL, consulté le 03/07/09) ...-	31 -
Tableau 3 : Exemple de lecture de scores de classement des sources de dégradations de la QAI en sortie de puits canadien.....	- 33 -
Tableau 4 : Classement des cinq premiers agents physiques .....	- 35 -
Tableau 5 : Classement des cinq premiers agents chimiques .....	- 35 -
Tableau 6 : Classement des cinq premiers agents d'origine biologique.....	- 35 -
Tableau 7 : Notation du critère gravité de l'impact sur le fonctionnement du défaut....	- 37 -
Tableau 8 : Notation du critère gravité de l'impact sur la santé du défaut.....	- 37 -
Tableau 9 : Notation du critère détection du défaut.....	- 38 -
Tableau 10 : Les dix premiers facteurs de dégradations de la QAI selon l'AMDEC provisoire .....	- 39 -

## Introduction

Actuellement, deux tendances majeures se développent, s'affrontent ou se complètent dans le domaine de la construction et du bâtiment. La première cherche à limiter la consommation d'énergie et à réduire les émissions de gaz à effet de serre pour des raisons environnementales et écologiques. La seconde privilégie un bâti et des matériaux sains pour diminuer les sources de pollution et de dégradation de la qualité de l'air intérieur et ainsi protéger la santé des occupants. A cela s'ajoutent les exigences de plus en plus fortes de la population, sensibilisée aux problématiques économiques et environnementales et encore marquée par les dossiers tels que celui du plomb, de l'amiante ou de la canicule de 2003.

Dans ce contexte et depuis 2007, le CETIAT (Centre Technique des Industries Aérauliques et Thermiques), étudie les puits canadiens/provençaux à la demande d'industriels français intéressés par ces échangeurs géothermiques, très répandus en Allemagne, qui permettent de réaliser des économies d'énergie en faisant circuler de l'air de ventilation dans des conduits enterrés. Or, si de nombreuses études ont été menées sur la technique, la mise en œuvre et les performances énergétiques de ces installations, très peu jusqu'à présent, se sont intéressées aux éventuels risques sanitaires engendrés par l'utilisation de tels puits. De fait, plusieurs organismes et bureaux d'études spécialisés (le Centre d'Études Techniques de l'Équipement de Lyon, Fiabitat, Hapco, Eole...) mettent en garde contre de éventuelles détériorations de la qualité de l'air des bâtiments utilisant des puits canadiens/provençaux.

Afin de clarifier la question, le CETIAT, conjointement avec GDF SUEZ, a démarré, en 2009, une étude sur le thème de la qualité de l'air en sortie des puits canadiens/provençaux, à la demande de ces mêmes industriels.

Les enjeux de cette étude sont triples :

- des enjeux sanitaires, difficiles à évaluer du fait de l'absence de données précises sur la nature et le danger des potentielles dégradations de la qualité de l'air ainsi que sur le nombre de puits canadiens installés dans le résidentiel et dans le tertiaire dans l'hexagone ;
- des enjeux environnementaux, car les puits provençaux/canadiens, en diminuant la consommation d'énergie, représentent une solution séduisante pour la réduction des émissions de gaz à effets de serre ;
- des enjeux économiques, difficiles à cerner car si une niche économique s'est d'ores et déjà développée autour des puits provençaux/canadiens : des fabricants de matériels aérauliques, des installateurs, des bureaux d'études spécialisés..., elle ne semble pas très étendue. D'autre part, l'utilisation des puits provençaux/canadiens doit

également permettre aux utilisateurs de réaliser des économies en réduisant les postes du chauffage et du rafraîchissement des bâtiments.

L'étude se limite aux puits conçus, dimensionnés et installés par des professionnels. Elle envisage les défauts de conceptions et d'installations plausibles mais n'aborde que très peu le comportement des utilisateurs. Deux grands types de puits sont considérés : les puits ayant recours à des conduits de petit diamètre pour l'habitat individuel et les puits utilisant des conduits de plus grand diamètre pour l'habitat collectif et le tertiaire.

Les informations nécessaires à la réalisation de l'étude sont recueillies en grande partie dans la littérature et complétées par des échanges avec des utilisateurs de puits canadiens/provençaux et des professionnels.

La première partie de cette étude, qui correspond à ce mémoire, consiste à identifier les dégradations potentielles de la qualité de l'air en sortie de puits canadien/provençal et les facteurs dont elles pourraient dépendre puis à les hiérarchiser afin de mettre en évidence les agents et les facteurs à étudier en priorité par la suite.

# 1 Qualité de l'air intérieur et puits canadiens

## 1.1 Puits canadiens

L'engouement que connaît le puits canadien/provençal en Allemagne et l'intérêt qu'il suscite en France a donné naissance à une importante quantité de documents de pertinence variable. Ceux qui ont été utilisés dans cette étude sont des guides ou des ouvrages (CETIAT, 2008. [28], HERZOG, 2007. [40], DERDERIAN, 2008. [33], LOYAU, 2009. [102]), les sites des installateurs et constructeurs (REHAU, EOLE, ALDES, SODIELEC...) et les sites de divers organismes comme l'ADEME [1] ou Agence locale de l'énergie des Ardennes [16].

### 1.1.1 Principe de fonctionnement et description du système

Le principe du puits canadien/provençal est de faire circuler l'air neuf de ventilation dans un conduit enterré grâce à un ventilateur, avant de l'insuffler dans le bâtiment. En hiver, l'air se réchauffe au cours de son parcours souterrain. Les besoins de chauffage liés au renouvellement d'air des locaux sont alors réduits et le maintien hors gel du bâtiment peut être assuré. L'ouvrage est alors appelé puits canadien. En été, l'air extérieur profite de la fraîcheur du sol pour se refroidir et arriver dans le bâtiment durant la journée à une température inférieure à la température extérieure. L'ouvrage est alors appelé puits provençal. Dans la suite du document les puits canadiens/provençaux seront désignés sous le terme de puits canadiens uniquement. Le schéma de la figure 1 présente un exemple de puits canadien avec ses quatre composants principaux.

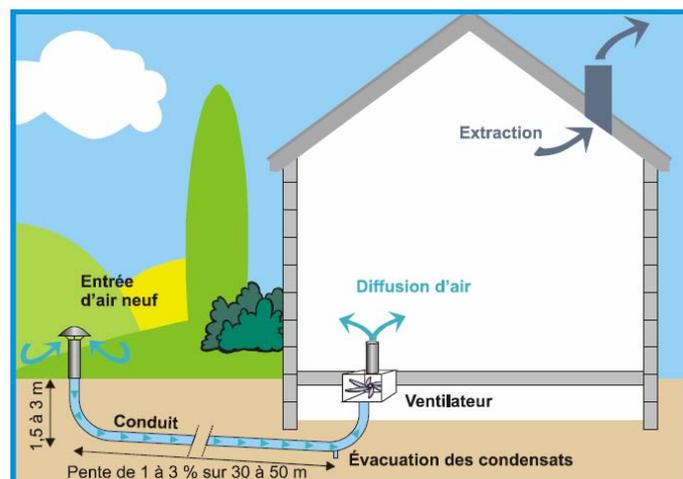


Figure 1 : Schéma d'un puits canadien avec ses quatre éléments : la prise d'air neuf, le conduit de l'échangeur géothermique, le système d'évacuation des condensats et le ventilateur.

(d'après CETIAT [28])

Il est difficile d'évaluer le nombre de puits canadiens installés à l'heure actuelle en France. Ce nombre serait compris entre 120 selon CANADA-CLIM, distributeur de puits

canadiens, et 2000, seulement pour l'année 2008, selon FIABITAT, bureaux d'études spécialisés dans les puits canadiens.

Il n'existe pas réellement de modèle de puits canadien. Chaque fabricant en propose plusieurs types et les particuliers peuvent les adapter et les modifier. Toutefois, il est possible de souligner des points qui semblent incontournables.

#### A) Prise d'air neuf

Tous les puits canadiens possèdent une prise d'air neuf. Elle peut être en colonne extérieure circulaire ou cubique et placée en façade de bâtiment ou à distance lorsque le terrain le permet. Parfois elle ouvre sur un plénum (sorte de vide sanitaire spécifique au tertiaire ou résidentiel collectif). Ses dimensions sont généralement les mêmes que celles des conduits auxquels elle est reliée de manière à ne pas occasionner de variations de vitesse et de pertes de charge. Elle peut être omnidirectionnelle ou unidirectionnelle en fonction des éventuelles sources de pollution environnantes. Elle est souvent pourvue d'un chapeau et d'ailettes empêchant l'eau de pluie de pénétrer dans le puits. La prise d'air est généralement placée légèrement en hauteur de manière à ne pas capter trop de poussières. Elle est fixée dans le sol par socle béton.

Plusieurs matériaux sont utilisés pour les prises d'air :

- l'acier inoxydable, l'acier galvanisé ou le béton pour le tertiaire,
- l'acier inoxydable, l'acier galvanisé, le béton, le polyéthylène, le polypropylène ou le PVC pour le résidentiel individuel

Les prises d'air considérées dans l'étude ont les caractéristiques décrites ci-après.

Elles prennent l'air neuf uniquement à l'extérieur. La prise d'air dans le plénum est écartée, car jugée dangereuse (contexte radon ainsi que sites et sols pollués), anecdotique et contraire à la réglementation.

La prise d'air est équipée d'une grille à maille fine dans le cas du résidentiel individuel ou bien de deux grilles, la première à mailles larges et la seconde à mailles fines, dans le cas des puits collectifs ou tertiaires. En acier ou en plastique, elles protègent le puits de l'intrusion d'animaux, de feuilles, de branches... et aussi l'intrusion de personnes dans le cas de puits de grands diamètres.

Un filtre G2 à G4 qui retient les insectes, les poussières et les plus grosses particules est placé après la ou les grilles. Les filtres sont à priori, en polyester, en fibres de verre, en fibres de cellulose, en fibres en polypropylène ou en fibres en carbone activé. La présence d'un second filtre F7 retenant les pollens et les micro-organismes est aussi envisagée.

## B) Échangeur géothermique

Il est constitué d'un ou plusieurs tubes assurant un triple rôle : canaliser le flux d'air, permettre les échanges thermiques entre l'air et le sol et assurer la tenue mécanique de l'ouvrage. Leurs principales caractéristiques sont leurs dimensions (diamètre, longueur) et leur matériau.

Le choix du matériau varie en fonction des contraintes mécaniques, des dimensions et des performances thermiques recherchées. Les principaux matériaux utilisés sont les suivants :

- le polypropylène, l'acier galvanisé, le béton, le grès vitrifié pour le tertiaire
- le polyéthylène, le polypropylène, les gaines PTC, le PVC, la terre cuite pour le résidentiel individuel.

Les échangeurs en matériau souple peuvent parfois être d'un seul tenant mais le plus souvent, ils sont en plusieurs sections comme les échangeurs en matériau rigide. Plusieurs méthodes sont alors utilisées pour assurer les raccords : vissage, emboîtement, collage... avec parfois des joints en caoutchouc.

L'échangeur est généralement enterré entre 4 et 6 m pour le tertiaire et entre 1 et 2 m pour le résidentiel individuel. Il est assez éloigné de la dalle des bâtiments pour éviter toute fuite de chaleur de celle-ci vers le puits. Une pente régulière de 2 à 3% est mise en place afin d'évacuer les éventuels condensats. Un échangeur prend de la place. Sa configuration a une influence importante sur les pertes de charge. Le choix de la configuration est donc un compromis entre les possibilités offertes par le terrain et les pertes de charge. Les quatre configurations représentées figure 2 sont les plus utilisées : droite, en boucle, en boucle de Tichelmann ou en méandres.

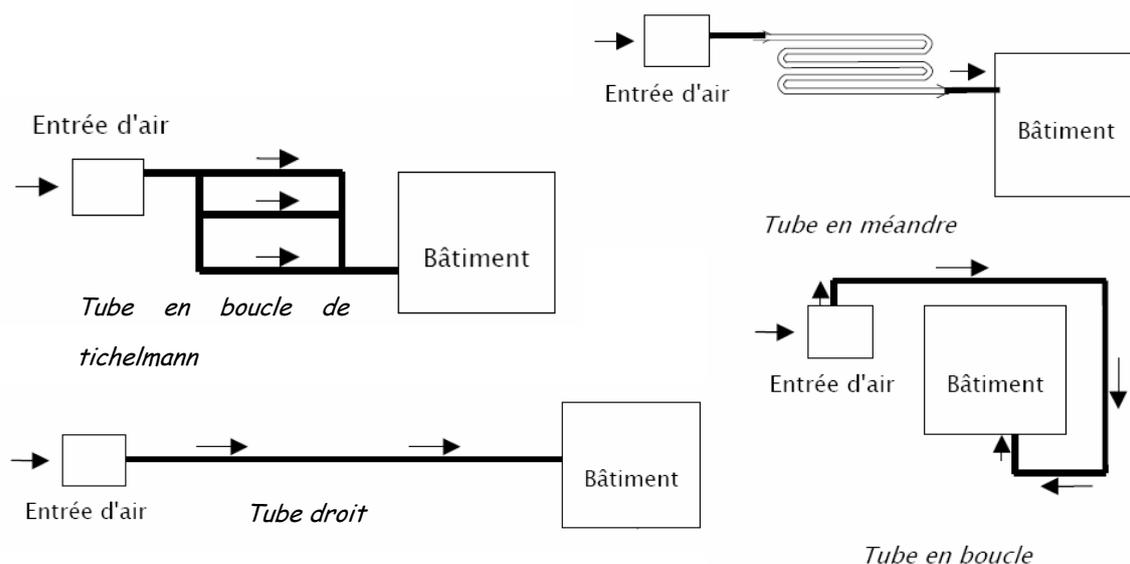


Figure 2 : Présentation des différentes configurations fréquemment utilisées pour les puits canadiens (d'après Sodielec-Berger)

Dans le cas d'une configuration en boucle de Tichelmann ou en méandres, il faut prêter attention à la distance entre les tubes pour que les échanges thermiques entre le sol et chacun des tubes ne soit pas perturbés par des échanges thermiques entre les tubes.

Aucune possibilité n'a été exclue lors de l'étude.

#### C) Système d'évacuation des condensats

Le fait que de l'air chaud et humide provenant de l'extérieur se refroidisse au contact des parois froides du puits canadien peut engendrer un phénomène de condensation dans les conduits (Canada Clim, 2006. [26]). Dans ce cas, un système doit permettre d'extraire ces condensats.

Pour ce faire, il existe trois possibilités:

- Dans le cas où le bâtiment possède un sous-sol, alors le point bas de l'échangeur thermique peut être situé à ce niveau. Les condensats sont alors récupérés grâce à la pente des conduits de 2 à 3% et à un siphon. Le siphon est dans raccordée au réseau d'écoulement des eaux usées ou des eaux pluviales lorsque celui dernier existe.
- Si le sol est perméable et que la topographie le permet, un puits d'infiltration peut être placé au niveau du point bas de l'installation (vers le bâtiment ou vers la prise d'air). Il faut au préalable s'assurer de l'absence de nappe, source ou écoulements souterrains.
- Si la nature du sol ne permet pas l'infiltration ou si il y a un risque de remontée d'eau (nappe libre superficielle par exemple) dans le puits, alors l'installation d'une fosse en point bas de l'installation équipée d'une pompe peut être envisagée. La pompe est dans ce cas raccordée au réseau d'écoulement des eaux usées ou des eaux pluviales lorsqu'ils existent. Dans le cas contraire, il faut prévoir une zone d'épandage.

Les trois types de système sont considérés dans l'étude. Deux configurations sont envisagées : récupération des condensats sous la prise d'air et récupération au niveau de la sortie du puits canadien. Dans le premier cas, la récupération ne s'effectue pas au niveau de la condensation, de l'eau circule donc potentiellement tout le long du puits. Dans le second cas, la récupération se fait un peu après la condensation, l'eau ne circule donc que sur une petite partie du puits.

#### D) Ventilateur

Pour garantir l'apport en air neuf du bâtiment, le système du puits canadien nécessite un couplage avec une ventilation mécanique capable de vaincre les pertes de charge engendrées par le passage dans l'échangeur. Le ventilateur doit être dimensionné de manière à assurer les débits réglementaires.

Le ventilateur peut être équipé d'un régulateur. Un thermostat placé à l'extérieur va favoriser le passage de l'air par le puits canadien ou par le by-pass en fonction de la

température extérieure (gains en température faible en mi-saison par exemple donc passage par le by-pass).

Deux configurations sont ici aussi envisageables : le ventilateur placé en entrée ou en sortie de puits. Dans le premier cas, le conduit est en surpression et le bruit du ventilateur plus éloigné des occupants. Cette configuration semble plus intéressante d'un point de vue sanitaire (atténuation du bruit et lutte contre l'intrusion de pollution provenant du sol) même s'elle est rarement mise en œuvre dans ce but. Elle est peu utilisée car elle nécessite généralement l'emploi de deux ventilateurs. Dans le second cas, le conduit est en dépression et le ventilateur peut être le même que celui de la VMC double flux. C'est cette configuration qui est la plus utilisée car elle ne nécessite l'emploi que d'un ventilateur.

L'utilisation d'un by-pass semble assez courante et est donc prise en compte dans l'étude. Les utilisations suivantes seront considérées : pendant toute l'année, pendant l'hiver et pendant l'été, pendant la période estivale exclusivement, avec coupure les week-ends ou non...

### **1.1.2 Mise en évidence des spécificités du puits canadien**

Le puits canadien est donc un système qui participe à la ventilation, qui assure le préchauffage de l'air en hiver et son refroidissement en été. C'est un système unique pour plusieurs raisons.

#### **A) Circulation de l'air neuf dans un conduit enterré**

C'est sans doute la première particularité du puits canadien et ce qui le différencie de tous les autres systèmes de ventilation, de chauffage et de climatisation. C'est aussi ce qui pourrait inquiéter les utilisateurs.

Le fait que les conduits soient enterrés a quatre conséquences directes :

- La première est qu'en cas de défaut de conception, de dimensionnement ou de réalisation, le coût pour effectuer des modifications ou des réparations est prohibitif. C'est pour cette raison que les puits défectueux restent souvent en l'état ou sont abandonnés.
- La deuxième est qu'en cas de problème d'étanchéité, le puits peut être contaminé par du sol, des polluants, de l'eau souterraine...
- La troisième est en lien avec la longueur de l'installation et les pertes de charges au sein du puits. Le puits canadien est beaucoup plus long qu'un système de ventilation habituel. Or la longueur et la forme qui favorise les échanges thermiques augmentent également les pertes de charges et donc la consommation électrique du ventilateur. Le dimensionnement du puits canadien relève donc d'un compromis délicat.

- Enfin la dernière est que, par son principe de fonctionnement même, les conditions environnementales régnant à l'intérieur du puits sont stables tout au long de l'année. Or il est possible que ces conditions soient favorables à un développement microbien.

## B) Conception, dimensionnement, réalisation et entretien

La réalisation du puits canadien est à la fois spécifique et très variable selon qu'elle est effectuée par des professionnels ou des particuliers. Elle comprend plusieurs phases successives.

### a) *Conception et dimensionnement*

Elle est idéalement réalisée par un bureau d'étude compétent et comprend plusieurs étapes décrite ci-dessous.

#### *Réalisation de l'étude environnementale*

Cette étude est primordiale pour la suite car elle permet de recueillir les données indispensables au dimensionnement de l'ouvrage. Elle comprend de nombreux points dont quatre sont plus spécifiques du puits canadien : l'étude du climat, du sol, de la parcelle et du bâtiment. Un soin particulier doit être apporté à l'identification des sources de pollution potentielles (activités humaines, infrastructures, végétation...) et au repérage des sources de détérioration de l'ouvrage (rochers, racines, zones de failles et de mouvements de terrain...).

#### *Détermination des besoins d'approvisionnement d'air neuf*

Cette étape permet de fixer les objectifs du puits canadien en accord avec la réglementation. Ces objectifs sont définis de manière à assurer le confort et la santé des occupants, en réalisant si possible des économies d'énergie. Les résultats de cette étape sont un débit moyen et un débit maximal de renouvellement d'air.

#### *Dimensionnement*

Cette étape est calculatoire et permet d'optimiser l'ouvrage de manière à ce qu'il remplisse ses objectifs en matière de ventilation et de température en fonction des conditions du site établies lors de l'étude environnementale.

Il existe des variables imposées par la réglementation et les conditions environnementales : le débit, les propriétés du sol, la profondeur d'enfouissement et les caractéristiques géographiques.

Alors que d'autres valeurs peuvent être choisies : les dimensions de l'échangeur géothermique (longueur et section). Les seules limites imposées à ces valeurs sont celles de l'offre des fabricants, de la technique choisie et du coût consenti.

Les objectifs sont de maximiser les gains thermiques en minimisant les pertes de charges et donc la consommation électrique du ventilateur.

#### *Choix du modèle de puits canadien*

Le choix du modèle influençant les pertes de charges de charge et les gains thermiques, il s'effectue simultanément au dimensionnement.

Il faut noter ici qu'il n'existe aucune réglementation concernant les puits canadiens et que chacun est libre de concevoir son puits comme il le désire. Les possibilités sont de fait assez étendues.

#### *b) Mise en œuvre*

La mise en œuvre est idéalement réalisée par des professionnels des voiries et réseaux divers (VRD), du génie climatique et du génie civil. La mise en œuvre d'un puits canadien nécessite l'ouverture d'une tranchée longue de plusieurs dizaines de mètres et profonde de 1 à 2 m pour l'individuel et de 4 à 6 m pour le collectif et le tertiaire. C'est pourquoi il est beaucoup plus facile et économique de la réaliser en même temps que le bâtiment.

Elle comprend plusieurs phases présentant chacune des risques de défaillances qui seront analysés plus loin :

- |   |   |    |   |
|---|---|----|---|
| 1 | Le transport et le stockage                             | 7  | Le raccordement au système de ventilation |
| 2 | Le terrassement   | 8  | Le test d'étanchéité                      |
| 3 | La réalisation de la pente                              | 9  | Le remblaiement                           |
| 4 | La pose des conduits                                    | 10 | La mise en place d'une instrumentation    |
| 5 | La pose de la prise d'air neuf et des regards           | 11 | La mise en fonctionnement                 |
| 6 | La mise en place du système d'évacuation des condensats |    |   |

#### *c) Entretien*

Comme tous les systèmes de ventilation, chauffage ou climatisation, le puits canadien nécessite un entretien régulier. Les éléments concernés sont : la grille, le filtre, les conduits, la pompe ou le siphon et le ventilateur.

## **1.2 Qualité de l'air intérieur**

### **1.2.1 Enjeu de santé publique**

La qualité de l'air intérieur (QAI) est une problématique en plein développement. De la première réglementation de l'aération des logements (1969) à la campagne de l'OQAI (2003-2005) [115] une véritable prise de conscience des enjeux sanitaires et de la complexité du problème a eu lieu.

Selon de récentes publications (AFSSET [4] [7], BLUYSSSEN, 2009. [22], DEOUX, 1997. [32], ESCHLER, 2009. [35], OQAI [112] [115] [116], ROULET, 2004. [121], ROULET, 2008. [122]), entre le logement, le lieu de travail, les différents établissements recevant du public et les transports, les Français passent entre 70 et 90% de leur temps dans des environnements clos. Certaines personnes comme les jeunes enfants, les personnes malades ou les personnes âgées, peuvent y passer encore plus de temps. Or ces environnements sont des espaces potentiellement pollués et nombre de ces polluants sont susceptibles d'avoir des effets sur la santé. La pollution de l'air à l'intérieur des logements notamment est de plus en plus mise en cause.

Tout l'enjeu de la QAI est de maintenir les niveaux de polluants à des seuils acceptables pour la santé des occupants et ceci en tenant compte des variabilités d'exposition et de sensibilité des occupants.

### **1.2.2 État des lieux**

En ce qui concerne la QAI, chaque lieu est spécifique en raison : d'une part de son environnement et des sources de pollution, d'autre part de ses exigences en matière de qualité d'air (ESCHLER, 2009. [35], RAVEL, 2002. [119], HOST, 2005. [41], DE BAUDOIN, 2006. [31], JEDOR, 2005. [100], OQAI, 2006. [115], PASQUALON, 2006. [117]).

Il apparaît qu'en général la QAI est moins bonne que celle de l'air extérieur (OQAI, [115]). Les concentrations des polluants sont souvent plus fortes en milieu professionnel que dans l'habitat ou dans les lieux publics (AFSSET [4] [7]). La multiplicité des polluants et des sources potentielles, ainsi que leur évolution dans le temps et leurs possibles interactions, rend l'étude de la qualité de l'air très difficile.

### **1.2.3 Sources de pollution et les principaux polluants**

Les principales sources de pollutions identifiées dans les environnements domestiques et dans les environnements professionnels sont : l'air extérieur (infrastructures, activités industrielles, activités agricoles, transports, urbanisme...), les occupants (humains, animaux, végétaux, micro-organismes), leurs activités (nettoyage, cuisine, hygiène, tabagisme...), les appareils de chauffage et les matériaux de constructions et de décoration ([4] [7]). En outre, les sources de dégradation de la QAI émettent généralement de manière simultanée.

Le nombre de polluants est trop grand pour espérer pouvoir tous les traiter simultanément. Il a donc été décidé au niveau national de concentrer les recherches, les mesures et les actions sur les plus préoccupants. Ainsi, en 2002, l'OQAI ([111]) a rendu public une classification des polluants de l'air intérieur basée sur des critères sanitaires et sur des critères d'exposition. De nouveaux polluants ont été classés en 2005 [114].

## **1.3 Ventilation**

### **1.3.1 État des lieux**

La ventilation est le principal moyen de lutte contre la pollution de l'air intérieur. En 2008, l'OQAI publie un dossier sur « l'État de la ventilation dans les logements français » ([116]) qui rappelle, entre autres choses, le rôle prédominant que joue la ventilation.

Tout d'abord, elle apporte de l'air neuf et évacue l'air vicié et les polluants générés à l'intérieur. En effet, les occupants d'un bâtiment et leurs activités consomment de l'air, l'appauvrissant en dioxygène et l'enrichissant en dioxyde de carbone et en divers polluants. La ventilation doit donc apporter assez d'air neuf pour que les besoins des occupants soient satisfaits (ainsi que ceux de leurs activités, plantes d'intérieurs, animaux...).

Mais la ventilation doit aussi évacuer les polluants qui sont générés à l'intérieur (dioxydes de carbone, humidité, polluants chimiques...) afin de ramener leur concentration à des niveaux acceptables.

La ventilation doit remplir ses fonctions sans troubler le confort des occupants (bruits, courants d'air...) et ne pas constituer une source de pollution (en générant de la pollution ou en la transférant).

### **1.3.2 Réglementation**

En France, trois principaux arrêtés réglementent la ventilation des logements (OQAI, 2008. [113]):

- l'arrêté du 22 octobre 1969 relatif à "l'aération des logements" qui fixe le principe de ventilation générale et permanente par balayage,
- l'arrêté du 24 mars 1982 qui fixe les « dispositions relatives à l'aération des logements » et introduit la notion de modulation du débit d'extraction par dispositif manuel
- l'arrêté du 28 octobre 1983, dans lequel le dispositif de modulation du débit d'extraction peut être automatique avec une modulation selon l'hygrométrie.

La réglementation fixe des débits minimaux en fonction du nombre de pièces et de leurs usages.

Pour le tertiaire, la ventilation est fixée par le Règlement Sanitaire Départemental Type (RSDT) en accord avec la protection incendie.

### **1.3.3 Différents systèmes de ventilation**

Différents systèmes de ventilation sont actuellement utilisés dans les bâtiments. Le site Internet de l'ADEME propose un dossier sur ces différents systèmes et le CETIAT a publié un guide pratique de la « Qualité de l'air dans les installations aérauliques » en 2004 [27] qui présente en détail les systèmes mécanisés. Mais seuls certains d'entre eux sont compatibles avec les puits canadiens :

- La ventilation mécanique contrôlée (VMC) simple flux contrôle l'extraction de l'air vicié. Le ventilateur aspire l'air intérieur et l'éjecte à l'extérieur. Souvent l'extraction à lieu dans les pièces humides et la cuisine. L'air neuf entre grâce à la perméabilité naturelle de la construction ou, le plus souvent, par des prises d'air, petites ouvertures situées dans les pièces de vie (séjour, chambres...). Le logement est en légère dépression. Il existe deux systèmes de régulation du débit des VMC : le système *auto-réglable* qui maintient un débit constant quelles que soient les conditions extérieures et intérieures, et le système *hygro-réglable* pour lequel le débit varie en fonction de l'humidité intérieure suivant l'hypothèse selon laquelle l'air humide est plus « mauvais » que l'air sec. Ce système ne peut être couplé au puits canadien que si celui-ci est équipé d'un ventilateur séparé pour forcer le passage de l'air par le puits. Le puits canadien doit être la seule entrée d'air du bâtiment. Celui-ci doit donc être parfaitement isolé. Si ce n'est pas le cas, l'air ne passe pas forcément par le puits mais suit le chemin le plus facile impliquant le moins de pertes de charge.
- La ventilation mécanique contrôlée (VMC) double flux avec échangeur thermique contrôle l'extraction d'air vicié et l'entrée d'air neuf. Elle permet la récupération de la chaleur de l'air vicié (jusqu'à 70%) par échange thermique ce qui limite les pertes énergétiques inhérentes à la ventilation. Ce système semble le mieux adapté au couplage avec un puits canadien et ne requiert l'utilisation que d'un seul ventilateur.
- La VMC-gaz permet l'évacuation de l'air et des produits de combustion d'une chaudière ou d'un chauffe-eau à gaz par le même réseau. Ce système ne peut être couplé au puits canadien que si celui-ci est équipé d'un ventilateur séparé pour forcer le passage de l'air par le puits. Encore une fois, le bâtiment doit être parfaitement isolé.

## 1.4 Économies d'énergies

### 1.4.1 État des lieux

Les logements et les bâtiments tertiaires sont à l'origine de 19% des émissions nationales de dioxyde de carbone et consomment 46% de l'énergie finale (CETIAT, 2008. [28]). Le chauffage représente près des deux tiers de ces consommations d'énergie et il existe une forte demande pour les systèmes de climatisation. Or une grande partie de cette énergie pourrait être économisée par le renforcement de l'isolation thermique des bâtiments et le recours à des énergies renouvelables.

### 1.4.2 Réglementation thermique

En France, il existe une réglementation thermique depuis 1974. Elle a été plusieurs fois révisée, en 1978, 1982, 1988, réduisant progressivement, les consommations d'énergies des logements neufs de près 50%.

Pour respecter les Accords de Rio (1992) et de Kyoto (1997), la France a mis en place un plan national visant à réduire les demandes en énergie des bâtiments afin de limiter les émissions de gaz à effet de serre. Ce plan manifeste une volonté forte de rupture par rapport aux précédentes réglementations. Toutefois l'objectif visé n'est pas atteint. En effet, alors que la RT 2000 s'applique, en principe, à tous les permis de construire concernant les logements individuels, collectifs et les bâtiments tertiaires, en pratique, seuls les importants projets publics ont été concernés. Une explication de cet échec pourrait être un manque de moyens d'application, notamment le recours nécessaire à un bureau d'étude thermique en amont et en aval de la réalisation

La RT2005, plus exigeante que la RT2000, tient compte du Plan Climat de 2004 et de la forte volonté des autorités de réduire la consommation d'énergie des bâtiments qui sont à l'origine de plus d'un quart des émissions de gaz à effet de serre. Elle concerne des économies sur les postes suivants : chauffage, eau chaude sanitaire, refroidissement et auxiliaire; fixe une température maximale d'été; s'intéresse aux performances minimales des isolants, des systèmes de ventilation, des systèmes de chauffage.... Enfin elle affiche la volonté de traquer les ponts thermiques. Elle va même jusqu'à privilégier la VMC au minimum à simple flux hygro-réglable et préconise la VMC à double flux. Elle encourage également les dispositifs de rafraîchissement tels que les puits canadiens plutôt que des solutions de climatisation « classiques » consommateurs d'électricité.

Une nouvelle réglementation thermique devrait paraître pour 2012 et renforcera probablement les objectifs de réduction d'émission des gaz à effets de serre et le recours aux énergies renouvelables.

## **1.5 Synthèse des informations concernant la QAI en sortie de puits canadien**

Le puits canadien en tant que système de ventilation, de réchauffement et de refroidissement de l'air neuf de ventilation doit avoir un impact certain sur la qualité de l'air intérieur du bâtiment et sur sa consommation énergétique.

### **1.5.1 Impacts du puits canadiens sur la qualité de l'air intérieur.**

Très peu de documents traitent de cet aspect central de l'étude.

#### **A) Dégradations dues à des agents physiques**

Des inquiétudes concernant l'humidité sont mentionnées dans la littérature. Elles trouvent leur origine, d'une part dans l'expérience et la connaissance de nombreux puits canadiens noyés ou inondés et d'autre part dans la crainte du phénomène de formation et de stagnation de condensats. L'humidité fait généralement partie des paramètres mesurés dans les puits instrumentés et des valeurs quantitatives sont disponibles.

Les inquiétudes concernant le radon viennent tout simplement du fait que l'air circule dans un conduit enterré et que l'étanchéité puisse ne pas être toujours parfaitement garantie. De plus, le radon est un polluant actuellement très médiatisé et dont les dangers pour la santé sont désormais bien connus. Dans le cas du radon, il n'est fait mention nulle part de mesures ayant été réalisées spécifiquement pour les puits canadiens. Toutefois les concentrations de radon dans les sols sont désormais plus ou moins connues au niveau national et il doit être possible de calculer des approximations des concentrations présentes dans les puits.

#### B) Dégradations dues à des agents chimiques

Les polluants chimiques sont rarement mentionnés dans les documents relatifs aux puits canadiens. Il est généralement simplement conseillé d'éloigner la prise d'air de toutes sources de pollution potentielles : les axes routier, les zones de stationnement, les zones de stockages des déchets, les rejets des bâtiments (chauffages, air vicié...). Concernant les polluants pouvant provenir du matériau, le PVC est majoritairement déconseillé à cause de ces éventuelles émanations de phtalates et de métaux. Mais aucune mesure n'a à priori été effectuée.

#### C) Dégradations dues à des agents biologiques

Dans sa thèse, Barbara FLÜCKIGER [38] ne traite que l'aspect microbiologique et les pollens. Elle établit que :

- la concentration en microorganismes dans l'air intérieur est plus faible que celle de l'air extérieur mais qu'elle varie fortement en fonction des saisons.
- dans l'air intérieur, la concentration en éléments allergènes et notamment en spores est plutôt élevée mais que les spores vivantes, capables de donner naissance à de nouvelles colonies de bactéries ou de moisissures, sont en faible concentration.
- généralement, les concentrations de spores, champignons et bactéries sont bien plus faibles dans les conduits des puits que dans l'air avec de fortes variations en fonction des saisons. Il y a également de fortes différences entre les puits installés sur des logements résidentiels individuels et des puits pour des bâtiments de grande dimension (tertiaire). La baisse de concentration en microorganismes entre l'air dans les conduits du puits et l'air extérieur est bien plus marquée pour les puits de grande taille.
- enfin, pour certains puits du résidentiel individuel, une augmentation de la concentration en microorganismes a été observée entre l'air extérieur et l'air du puits.

Le résultat principal de cette thèse est finalement l'importance de la filtration notamment en sortie du puits canadien et celui de l'entretien du puits et des filtres.

Frédéric LOYAU [102], auteur du livre « Puits canadien et ventilation basse énergie », souligne, quant à lui, l'impact potentiel des pollens.

## **1.5.2 Impacts de la conception, du dimensionnement, de la mise en œuvre et de l'entretien sur la qualité de l'air intérieur et préconisations**

La littérature et les professionnels proposent de nombreux conseils pour la réalisation des puits canadiens. Ces conseils sont autant en lien avec la qualité de l'air qu'avec les performances thermiques et la problématique économique. La plupart de ces conseils sont tirés de l'expérience, d'autres du bon sens. Ces préconisations ne s'appuient pas sur des études scientifiques spécifiques et ne se justifient peut-être pas.

### **A) Conception**

Voici les principaux conseils prodigués :

La prise d'air doit, autant que possible, être éloignée des sources de pollution potentielle. Elle doit être équipée d'un chapeau empêchant la pluie de pénétrer dans le puits, d'une grille protégeant de l'entrée des animaux et des débris végétaux, d'un filtre G4 retenant les poussières et les pollens.

Les conduits doivent être enterrés entre 1 et 2m pour les puits individuels et entre 4 et 6m pour les puits de grande dimension. Ils doivent être résistants et étanches, avoir une pente d'au moins 2 à 3% et un système de récupération des condensats. Les pertes de charges doivent être minimisées alors que le temps de séjour et les échanges thermiques doivent, eux, être maximaux.

Il faut autant que possible éviter d'utiliser du PVC comme matériau pour les conduits. Les conduits doivent également être lisses à l'intérieur pour éviter toute stagnation d'eau.

### **B) Dimensionnement**

Peu de préconisations concernent le dimensionnement :

La vitesse dans les conduit ne doit pas dépasser 2 à 3 m/s pour que le flux reste laminaire.

Les gains thermiques doivent être supérieurs à la consommation électrique du ventilateur et de la pompe s'il y en a une.

Le débit doit respecter les prescriptions réglementaires.

### **C) Mise en œuvre**

Voici les préconisations rencontrées dans la littérature :

Il faut mieux mettre en œuvre le puits canadien en même temps que le bâtiment.

Il faut sécuriser le chantier et la tranchée.

Il faut protéger les conduits, prise d'air et regard en attente durant toute la durée du chantier.

Il faut commencer l'installation du puits en partant du bâtiment.

Il est conseillé de faire réaliser le terrassement par les professionnels des VDR, la pose de l'échangeur et son raccordement au système de ventilation par les professionnels du génie climatique et la traversée du mur par ceux du génie civil.

Une attention particulière doit être portée à l'étanchéité du puits. Un test d'étanchéité est vivement conseillé.

Un sillon peut être réalisé avant la pose de l'échangeur afin d'assurer l'adhésion du sol aux conduits, en particulier en cas de crainte de présence de radon.

#### D) Entretien

Peu de préconisations sont mentionnées dans la littérature :

Le nettoyage et le remplacement régulier des filtres en entrée, tous les 4 mois environ.

Le nettoyage du puits tous les 2 ou 5 ans selon les sources.

L'entretien régulier du ventilateur et de la pompe si il y en a une.

Il est aussi recommandé la mise en place d'une instrumentation pour le suivi du puits.

## **2 Caractérisation des dégradations potentielles**

Face au manque d'information concernant les impacts du puits canadien sur la qualité de l'air, la solution a été de rechercher les différents polluants ou dégradations affectant la qualité de l'air et de regarder si le puits canadien pouvait leur être lié. Mais une fois encore, les données sont incomplètes et de qualité variable.

### **2.1 Identification des dégradations de la QAI**

#### **2.1.1 Définition d'une dégradation de la QAI en sortie de puits canadien**

Un air intérieur de bonne qualité n'a pas d'impact sur la santé ou le confort des occupants. Toutes modifications physiques ou chimiques de cet air susceptibles d'avoir un effet négatif sur la santé ou le confort des occupants est une dégradation de la QAI. Des paramètres en lien avec la santé et le confort ont donc été définis. L'évaluation de la QAI correspond à une mesure de ces paramètres et à une comparaison avec des valeurs de référence.

#### **2.1.2 Présentation de la démarche**

Devant le peu d'information disponible, une démarche logique a été adoptée. Grâce à la bibliographie, les principales dégradations de la QAI sont connues. Pour chacune d'entre elles les sources éventuelles peuvent être listées. L'action du puits canadien est ensuite envisagée.

#### **2.1.3 Présentation des résultats**

Il apparaît que le puits peut être soit une source de dégradation, soit une voie de transfert de la dégradation avec potentiellement une aggravation ou une amélioration du phénomène. Le cas où le puits améliore la qualité de l'air n'est pas traité dans cette étude.

Quatre types de dégradations de la QAI liées à l'utilisation de puits canadiens ont été identifiés :

- des dégradations physiques (humidité de l'air, température de l'air, débit de renouvellement d'air, ionisation de l'air),
- une aggravation de la pollution chimique,
- une aggravation de la pollution physique,
- une aggravation de la pollution d'origine biologique.

Du fait des grandes différences existant entre ces dégradations, elles sont étudiées par la suite de manière séparée.

## 2.2 Identification des sources et des facteurs de dégradation

### 2.2.1 Définition d'une source et d'un facteur de dégradation

La source est l'origine, la cause de la dégradation alors que les facteurs sont les conditions nécessaires pour qu'une source provoque une dégradation. Le schéma de la figure 3 illustre ce principe.

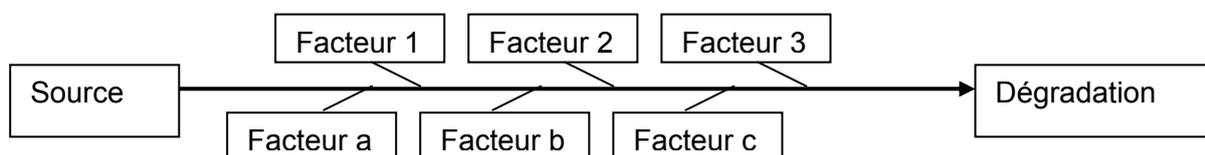


Figure 3 : Schéma de la source et des facteurs aboutissant à une dégradation de la QAI

### 2.2.2 Présentation de la démarche

L'identification des sources et des facteurs de dégradation de la QAI est effectuée par un arbre des causes.

L'arbre des causes est une méthode graphique décrivant l'enchaînement logique des faits qui ont provoqué un accident. Elle permet d'analyser les incidents ou accidents en s'élevant au-dessus des polémiques et des opinions.

Ici, l'hypothèse de départ est qu'un puits canadien, convenablement conçu, dimensionné, mis en œuvre et entretenu, fournit un air de bonne qualité. Les dégradations de la qualité d'air en sortie de puits canadiens sont donc assimilables à des accidents.

La recherche des causes s'effectue en partant de chacune des dégradations potentielles de la qualité de l'air et en se posant les trois questions suivantes :

- Qu'a-t-il fallu pour que cela arrive ?
- Cela était-il nécessaire ?
- Cela était-il suffisant ?

La première question permet d'identifier un fait (source ou facteur) susceptible d'avoir participé à la dégradation de la qualité de l'air, la seconde de s'assurer que le fait identifié joue bien un rôle dans la survenue de la dégradation, et la dernière de déterminer si d'autres conditions sont également nécessaires. Un exemple d'arbre des causes réalisé dans le cadre de l'étude est présenté en annexe O. Les autres arbres sont trop grands pour figurer dans ce rapport.

La littérature et le fonctionnement du puits canadien suggèrent trois sources envisageables pour chacune des dégradations précédemment identifiées : l'air extérieur, le sol et les matériaux du puits. Ces hypothèses pourront être confirmées par les arbres des causes.

Un arbre des causes a été réalisé pour chacune des dégradations suivantes :

- Un arbre des causes pour les problèmes d'humidité de l'air (air trop sec ou air trop humide)
- Trois arbres des causes pour les problèmes de température de l'air (air trop chaud ou trop froid, en été ou en hiver)
- Un arbre des causes pour les problèmes de débits de renouvellement de l'air insuffisant
- Un arbre des causes pour les problèmes de dépôt de particules et de poussières
- Un arbre des causes pour le développement potentiel de moisissures à l'intérieur du puits
- Un arbre des causes pour le développement potentiel de bactéries à l'intérieur du puits
- Un arbre des causes pour les problèmes d'accumulation potentielle d'agents chimiques provenant des sols
- Un arbre des causes pour les problèmes d'accumulation potentielle d'agents chimiques provenant de l'air extérieur.

Dans le cadre de l'étude, le manque de retour d'expérience implique que les scénarii envisagés dans les arbres des causes sont fictifs. Ils ne reposent que sur la réflexion et la logique.

### **2.2.3 Présentation des résultats**

Trois sources suspectées sont confirmées par cette méthode :

- L'air extérieur (les transports, les activités industrielles, les activités agricoles, les activités du voisinage, les sources naturelles, les végétaux les animaux, les micro-organismes),
- Le sol (les sources anthropiques, l'industrie, l'agriculture, les transports, l'hydrologie, la géologie, l'activité biologique),
- Les matériaux (les conduits, les grilles, les filtres, la prise d'air neuf)

Différents facteurs ont également été identifiés :

- Des facteurs environnementaux,
- Des facteurs humains,
- Des facteurs techniques.

La liste des facteurs est disponible en annexe F.

## **2.3 Identification des agents de dégradation de la QAI**

Les différents agents de dégradation de la qualité de l'air sont déduits en fonction des sources de dégradation. De nombreux documents décrivent les sources et les différents polluants impliqués dans les dégradations de la QAI (AFSSET [4] [6] [7] [8], BRGM [23], Observatoire régional d'Île-de-France [107], RAVEL, 2002. [119], HOST, 2005. [41],

BURGE et ROGER [25], DE BAUDOIN, 2006. [31], JEDOR, 2005. [100], OQAI, 2006. [115], PASQUALON, 2006. [117]).

Trois catégories d'agents sont distinguées : les agents physiques, les agents chimiques et les agents biologiques. Une quatrième catégorie a été réservée aux dégradations physiques de la qualité de l'air n'impliquant pas réellement d'agents.

### **2.3.1 Agents physiques**

Des agents physiques peuvent provenir de l'air extérieur, du sol ou des filtres: les particules (WITSCHGER et FABRIES, 2005. [133], HERVE-BAZIN et AMBOISE, 2007. [39]), le radon (AFSSET [5], IRNS [83]), les fibres minérales artificielles (AFSSET [10] ), l'amiante naturelle (BILLON-GAILLAND et al. [21]), le bruit.

### **2.3.2 Agents chimiques**

Le sol, les matériaux et l'air extérieur contiennent des agents chimiques qu'ils sont susceptibles de transférer vers l'air transitant par le puits canadien : des composés organiques volatiles ou COV (WESCHLER et NAZAROFF, 2008. [132], AFSSET [12] [13] [14], Observatoire régional d'Île-de-France [108]), des éthers de glycol (AFSSET, 2008. [15]), des phtalates (WESCHLER et al., 2008. [131]), des Polychlorobiphényles ou PCB (Conseil Européen pour Plastifiant set Intermédiaires [29]), hydrocarbures aromatiques polycycliques ou HAP, des métaux (MIQUEL, [105]), des oxydes d'azotes (INERIS, 2005 [47], Observatoire régional de la qualité de l'air en Midi-Pyrénées [106]), du monoxyde de carbone (AFSSET [11] ), de l'ozone (Observatoire régional de la qualité de l'air en Midi-Pyrénées [106]), du dioxyde de carbone (INRS, 1999 [60], Observatoire régional de la qualité de l'air en Midi-Pyrénées [106]), du méthane, du dihydrogène de soufre (INERIS, 2009 [53], Observatoire régional de la qualité de l'air en Midi-Pyrénées [106]), du dioxyde de soufre (INERIS, 2005 [43], Observatoire régional de la qualité de l'air en Midi-Pyrénées [106]), des pesticides (AFSSET [7])...

### **2.3.3 Agents d'origine biologique**

Les polluants d'origines biologiques sont bien connus car étudiés depuis longtemps pour des raisons médicales. Ils sont responsables d'une grande part des maladies, infections et allergies qui touchent la population. Les données relatives à la biologie environnementale qui sont nécessaires à cette étude sont le plus souvent générales. Les parasites et les amibes ont été exclus de cette synthèse. Les parasites parce que leur taille ou celle de leur hôte ont été jugées trop importantes pour leur permettre d'arriver jusqu'à l'intérieur du bâtiment par l'intermédiaire du puits canadien. Les amibes parce qu'elles vivent en milieu aqueux et non dans l'air.

Les agents pris en compte proviennent du sol ou de l'air extérieur et sont capable de survivre dans l'air. Il y a :

- des moisissures et leur mycotoxine (BERTHIER et VALLA [20], BOUTIN-FORZANO et al., 2006. [24], Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France, 2006. [30], FLÜCKIGER, 1997. [38], Institut national de santé publique du Québec, 2002. [99], Santé Canada, 2004. [123] [124] [125] [126] [127] [128] [129])
- des bactéries et leurs toxines (FLÜCKIGER, 1997 [38], EUZEBY [36] [37] )
- des pollens (RNSA, [120])

#### **2.3.4 Dégradations physiques**

Ont été identifiées comme dégradations physiques de la qualité de l'air: les problèmes d'humidité (AFSSE [2] [3]), de température (AFSSE [2] [3] , INRS [71] [76]), d'insuffisance de renouvellement de l'air intérieur (APSAM [17] [18]) et l'ionisation de l'air (BEN-DOV et al., 1983. [19], DONELLY et al., 2006. [34], LIPIN et al., 1984. [101], OLIVEREAU, 1974. [109]).

### **2.4 Condition de présence des agents de dégradation de la QAI**

Les agents qu'ils soient physiques, chimiques ou d'origine biologique pénètrent dans le puits en fonction de leur taille, leurs propriétés physico-chimiques et de l'état du puits. Leur source détermine leurs voies de passages potentiels.

#### **2.4.1 Les agents provenant de l'air extérieur**

Les agents provenant de l'air extérieur peuvent pénétrer dans le puits au niveau de la prise d'air et au niveau des regards intermédiaires.

##### **A) Les gaz**

Les gaz passent dans le puits canadien en même temps que l'air. Ils peuvent donc passer par l'orifice de la prise d'air ou par les ouvertures, fissures, espaces... dus à une mauvaise mise en œuvre de la prise de d'air ou des regards intermédiaires.

La hauteur de la prise d'air peut avoir un impact sur la quantité et la nature des gaz susceptible de pénétrer dans le puits par l'orifice.

##### **B) Les liquides**

Le principal liquide susceptible de provenir de l'air extérieur est l'eau. L'eau peut passer par l'orifice de la prise d'air si celui-ci n'est pas protégé par un chapeau et des ailettes adaptés ou s'infiltrer par les ouvertures, fissures, espaces... dus à une mauvaise mise en œuvre de la prise de d'air ou des regards intermédiaires.

### C) Les aérosols

Les aérosols sont de fines gouttelettes en suspension dans l'air. Elles peuvent pénétrer dans le puits canadien par l'orifice de la prise d'air si ou par les ouvertures, fissures, espaces... dus à une mauvaise mise en œuvre de la prise de d'air ou des regards intermédiaires.

### D) Les solides

Des solides sont susceptibles de pénétrer dans le puits canadien par la prise d'air, s'ils sont transportables par le vent et si l'orifice n'entrée n'est pas protégé, ou par les ouvertures, fissures, espaces... dus à une mauvaise mise en œuvre de la prise de d'air ou des regards intermédiaires.

S'il y a beaucoup d'agents solides au niveau de la prise d'air, cela signifie que l'étude environnementale ou la gestion de l'environnement proche du puits n'ont pas été convenablement réalisées. La hauteur de la prise d'air peut aussi avoir un impact sur la quantité d'agents solide susceptible de pénétrer dans le puits.

## 2.4.2 Agents provenant du sol

### A) Les gaz

Des gaz naturels ou d'origine anthropique peuvent pénétrer dans le puits canadien. Ils peuvent diffuser à travers la porosité du matériau, passer pas les ouvertures, fissures, espaces... dus à une mauvaise mise en œuvre de l'échangeur et de l'étanchéité des raccords.

La plupart de ces agents liquides sont aussi très volatils. Il est donc possible qu'ils soient sous forme gazeuse dans les sols.

### B) Les liquides

Le seul liquide naturel présent dans les sols est l'eau. Par contre, d'autres agents dus à des pollutions anthropiques peuvent être présents. Le plus probable à priori serait le cas de polluants peu ou non solubles résultant d'une pollution passée sur le site. Mais le cas de polluants solubles transportés par les nappes depuis un site pollué amont ne peut être exclu.

Le passage d'agents liquides au travers de la porosité du matériau est peu plausible mais reste possible c'est le cas de l'eau par exemple qui peut diffuser à travers certains matériaux et peut donc peut-être entrainer des polluants solubles avec elle. Toutefois, la

voie de passage qui semble la plus probable est celle des ouvertures, fissures, espaces... dus à une mauvaise mise en œuvre de l'échangeur et de l'étanchéité des raccords.

#### C) Les solides

Le passage d'agents solide peut s'effectuer au travers des ouvertures, fissures, espaces... dus à une mauvaise mise en œuvre de l'échangeur et de l'étanchéité des raccords. Les solides étant par nature peu mobile, ceux-ci ne passeront que si l'aspiration du ventilateur est suffisante ou s'ils sont drainés par de l'eau d'infiltration ou de nappe.

#### D) Les êtres vivants

Des plantes et animaux vivent dans le sol et peuvent aussi endommager des conduits enterrés. Dans le cas des plantes, ce sont surtout les racines des arbres qui peuvent déplacer et endommager les conduits ou même les perforer. Dans le cas des animaux, ce sont particulièrement des rongeurs qui sont à craindre car ils peuvent perforer certains matériaux (plastiques et même béton).

Il faut donc choisir le matériau le plus résistant possible et prendre soin de l'environnement proche du puits, surtout en ce qui concerne les arbres.

### **2.4.3 Les agents provenant des matériaux**

Il y a trop peu d'information pour déterminer les conditions d'émission des agents provenant des matériaux. L'identification de ces agents est elle-même incomplète.

## **2.5 Caractérisation des effets potentiels sur la santé et le confort**

Les différents agents ont fait l'objet d'une recherche dans les banques de données de l'AFSSET [6] [8] [9], de l'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS) et de l'Institut National de l'Environnement Industriel et des risques (INERIS), ainsi que sur « Furetox », moteur de recherche en toxicologie.

## **2.6 Définition de l'exposition**

#### A) Voie d'exposition

Connaissant les dégradations, leurs sources et leurs moyens de transferts, il est possible d'en déduire les voies d'exposition. Étant donné la diversité des agents et de leurs moyens d'action, trois voies d'exposition sont possibles : l'inhalation la plus probable, l'ingestion et le contact plus hypothétiques.

a) *Inhalation*

Les agents, ou les dégradations de la qualité de l'air, liés au puits canadien affectent l'air et sont véhiculés par lui. L'inhalation doit donc être envisagée. Cette voie d'exposition concerne la fraction inhalable des agents physiques, chimiques ou biologiques provenant du sol, de l'air extérieur ou du matériau, c'est-à-dire des gaz, des solides de petites dimensions et des aérosols.

Cette voie d'exposition est aussi souvent très bien renseignée par les études épidémiques et les études toxicologiques.

b) *Ingestion*

L'air peut également véhiculer des solides ou des aérosols de dimensions plus importantes. Ces éléments se déposent sur les surfaces à l'intérieur du bâtiment avec une concentration plus importante à proximité des bouches de soufflage. Ils peuvent de ce fait se retrouver sur les mains et être portés à la bouche. L'ingestion concerne essentiellement les agents physiques tels que les particules et les agents chimiques ou biologiques qui y seraient adsorbés.

Le cas de l'ingestion d'aliments sur lesquels se seraient déposés des agents est écarté car l'aliment se trouve plutôt dans la cuisine et les bouches de soufflage dans les chambres ou le salon.

Cette voie est également bien renseignée, tout comme la voie respiratoire. Mais sa probabilité semble ici plus faible. C'est pourquoi l'étude insiste moins sur cette voie que sur la précédente.

c) *Contact*

Les mains interviennent dans le processus d'ingestion. Il y a donc contact. Ce contact concerne ici les dégradations physiques ainsi que différents agents physiques et chimiques, solides ou liquides sous forme de particules ou d'aérosols qui pourraient entrer en contact avec la peau mais aussi les yeux ou les muqueuses. Cette voie d'exposition est généralement peu étudiée par les toxicologues. Il y a donc peu de chance pour que les relations dose-réponse ou les valeurs toxicologiques de référence (VTR) soient disponibles.

B) Temps d'exposition

Le temps d'exposition est défini comme le temps durant lequel les occupants subissent la dégradation. La condition primordiale dans le cas de l'étude est que le puits canadien soit en fonctionnement. Il faut aussi que les occupants soient présents. Enfin il faut que la dégradation se produise. Le temps d'exposition dépend donc de l'utilisation du puits, de l'occupation du bâtiment et des facteurs de dégradation. Le temps d'occupation est

négligé dans l'étude car il faudrait réaliser des budgets espace-temps, ce qui se révèle très difficile. L'OQAI est en train de réaliser de telles études mais les résultats ne sont pas encore connus et le cas échéant il faudrait s'assurer que les utilisateurs de puits canadiens n'ont pas de comportements atypiques.

Plusieurs temps d'exposition sont ainsi définis :

- L'exposition permanente lorsque le puits est utilisé toute l'année et la dégradation susceptible de se produire toute l'année.
- L'exposition saisonnière lorsque le puits canadien n'est utilisé qu'une partie de l'année ou que la dégradation ne peut se produire qu'une partie de l'année,
- L'exposition fréquente, lorsque le puits canadien est utilisé toute l'année ou une partie de l'année et que la dégradation peut se produire de manière ponctuelle, répétée et n'importe quand.
- L'exposition accidentelle, lorsque le puits canadien est utilisé toute l'année ou une partie de l'année et que la dégradation peut se produire de manière ponctuelle, n'importe quand mais avec de faible probabilité de répétition.

### **2.6.2 Effets sur la santé**

Les effets sur la santé et sur le confort sont décrits dans les tableaux des données sanitaires en annexe A, annexe B, annexe C et annexe D.

#### *A) Dégradations physiques*

Les dégradations physiques engendrent des effets chroniques sur le confort. Ils provoquent généralement des sensations de malaises plus ou moins prononcées pouvant s'accompagner de troubles physiologiques (céphalées, hyperventilation, sudation...). Ils agissent également sur le comportement. Ils peuvent aussi aggraver les effets d'autres dégradations en affaiblissant l'organisme ou en agissant sur les agents eux-mêmes.

Le principal impact des dégradations physiques est indirect.

En effet, l'impact du renouvellement de l'air sur la QAI est beaucoup plus vaste que ses seuls effets sanitaires. C'est surtout son rôle dans l'évacuation des agents de l'air intérieur qui est primordial car les dangers que ceux-ci représentent commencent désormais à être connus et se révèlent généralement graves.

De même, l'humidité et la température ont des effets indirects sur l'ensemble de la QAI et du bâtiment. Elles influencent les agents de l'air intérieur, modifient les propriétés des matériaux, favorisent le développement et la survie des micro-organismes et notamment des moisissures... Ce sont à la fois des paramètres de confort et de santé.

## B) *Agents physiques*

Les principaux agents physiques dans le cas des puits canadiens sont le radon, les fibres minérales (artificielles ou naturelles) et les particules (PM2.5 et PM 10). Tous sont liés à une exposition chronique par inhalation et peuvent être responsables d'un cancer du poumon.

## C) *Agents chimiques*

Les effets des agents chimiques sont très différents selon les substances.

Par inhalation, ils affectent généralement les voies aériennes supérieures et les poumons. Mais certains peuvent avoir des effets systémiques sur d'autres organes tels que le sang, les reins, le foie, le système nerveux central ou périphérique, sur le système digestif... Ils peuvent également être à l'origine de nouveaux cas d'asthme. Peu d'entre eux ont des effets cancérigènes, mutagènes ou reprotoxiques identifiés.

Par ingestion, ils affectent plutôt l'appareil digestif, mais peuvent également atteindre d'autres organes.

Enfin les principaux effets par contact se situent au niveau des muqueuses oculaires et respiratoires et comprennent principalement des irritations et des inflammations.

## D) *Agents d'origine biologique*

Les agents biologiques ont trois types d'effet.

Les bactéries et les moisissures peuvent provoquer des effets infectieux. Ces sont des maladies engendrées par l'intrusion des moisissures ou des bactéries dans l'organisme et leur développement aux dépend de celui-ci.

Ils peuvent aussi être à l'origine d'effets toxiques par l'intermédiaire des mycotoxines. Dans le cas des moisissures et à cause des endotoxines ou exotoxines dans le cas des bactéries. Les effets toxiques sont des effets néfastes pour l'organisme causés par les propriétés physico-chimiques de la substance. Ils diffèrent en cela de l'effet infectieux qui résulte d'un détournement de l'organisme ou de sa destruction par un autre être vivant.

Le dernier type d'effets des agents biologiques est l'effet allergisant. Il peut être provoqué par les moisissures (composants de la paroi et du cytoplasme), les bactéries (peptidoglycane de la paroi) et les pollens.

Un dernier type d'effet semble concerner exclusivement les moisissures. En effet, les moisissures émettent des COV qui peuvent avoir un effet irritatif sur les muqueuses oculaires et respiratoires.

### **2.6.3 Effets sur le confort**

#### **A) Définition d'un effet sur le confort**

Selon l'association Haute Qualité Environnementale (HQE), le confort est défini par des paramètres hygrothermiques, acoustiques, visuels et olfactifs. La frontière entre confort et santé n'est pas bien défini parce que le confort participe au bien-être et donc à la santé. Il est désormais établi que des effets négatifs sur le confort peuvent à long termes avoir des impacts sur la santé. Toutefois, les sources d'inconfort sont souvent très subjectives, les effets tellement variables d'un individu à l'autre que les impacts sur le confort seront traités séparément des impacts sur la santé.

#### **B) Principaux effets sur le confort**

Les dégradations physiques, les agents chimiques et les agents biologiques peuvent avoir des effets sur le confort.

Parmi les dégradations physiques identifiées, il y a les problèmes d'humidité et de température, ce qui correspond bien à des paramètres de confort.

En ce qui concerne les agents chimiques biologiques, ils sont plutôt susceptibles d'agir sur le confort olfactif. En effet, de nombreux agents chimiques sont odorants et détectables à des faibles concentrations. Dans le cas des agents biologique ce sont les COV émis par les moisissures qui peuvent engendrer une gêne.

Il faut également noter que le bruit du ventilateur ou de l'air circulant dans les conduits peut aussi être une source d'inconfort.

### **2.7 Interprétation et discussion des résultats**

Les sources de dégradation potentielles de la QAI en sortie de puits canadiens sont donc assez restreintes : les matériaux du puits, l'air extérieur et le sol. Par contre, elles peuvent être à l'origine de divers et nombreux agents nocifs pour la santé. La plupart du temps, ces agents sont certainement dilués lorsqu'ils arrivent au niveau du puits sauf si la source est de pollution est très proche.

La voie principale d'exposition est la voie respiratoire mais l'ingestion de poussières et des agents qui y sont absorbées n'est pas à négliger.

Dans le cas de l'air extérieur, les principaux agents à considérer semblent être des gaz provenant des transports ou de l'industrie et des particules de toutes natures et de toutes origines dont des micro-organismes. Ces agents peuvent avoir des effets sur la santé et le confort. L'environnement proche du puits joue un rôle déterminant dans la nature et la concentration des différents agents ainsi que l'efficacité des moyens de protection de l'entrée du puits (grille et filtre).

Dans le cas du sol, les agents potentiels sont très nombreux. Toutefois, la probabilité de leur présence est plutôt faible. En effet, la plupart des agents identifiés sont des polluants des sols. Leur présence et surtout leur concentration sont donc extrêmement variables d'un site à un autre. Il faut néanmoins noter l'existence d'agents naturels, des gaz, des particules et des radiations. Leur passage à tous dans le puits canadien dépend en grande partie de la porosité du matériau des conduits et du soin apporté à la mise en œuvre et à l'étanchéité. Les effets sur la santé de certains de ces agents peuvent être très graves.

Il n'y a que très peu d'information disponible concernant les agents émis par les matériaux du puits. Ils seront toutefois étudiés dans la suite de l'étude.

La liste d'agents potentiels proposée ici n'est pas exhaustive. D'autres agents non cités peuvent également être présents sur certains sites et dans certains puits canadiens. Il semble qu'il puisse y avoir autant de possibilité de pollution qu'il y a d'installation de puits. Le site et ses caractéristiques, ainsi que le puits et ses différents paramètres et phases de réalisation semblent avoir un impact important sur les dégradations potentielles de la QAI en sortie de puits canadien.

Dans la plupart des cas, le puits canadien n'aura un impact sur la QAI que s'il permet le passage et la concentration de l'agent. Le contraire est également possible et le puits pourrait améliorer la QAI en limitant ou en diminuant le passage et la concentration des différents agents.

### **3 Hiérarchisation des agents de dégradations de la QAI et de leurs facteurs**

#### **3.1 Classement des agents de dégradations de la QAI**

Il s'agit d'un classement de tous les agents identifiés dans l'étude comme pouvant être responsables d'une dégradation de la qualité de l'air en lien avec les puits canadien. Afin de tenir compte des différences de comportement et d'effets, trois classements ont été réalisés : un classement des agents chimiques (provenant du sol, de l'air extérieur ou des matériaux constitutifs du puits), un classement des agents physiques (provenant du sol, de l'air extérieur ou des matériaux constitutifs du puits ainsi que les dégradations physiques) et un classement des agents d'origine biologique (provenant du sol ou de l'air extérieur).

##### **3.1.1 Choix et définition des critères**

Six critères ont été retenus afin d'effectuer ce classement.

###### **A) Probabilité**

Il s'agit ici d'évaluer la plausibilité de l'exposition, de répondre à la question : l'agent peut-il être présent ? Quatre classes ont été définies : très probable, possible, peu probable et absence de données. La probabilité de présence d'un agent a été évaluée à partir de l'analyse des arbres des causes correspondants.

La réflexion est la suivante :

Plus il y a de « ou », plus il y a de scénarii possibles provoquant la dégradation donc plus la probabilité qu'elle survienne est grande. Cette plus grande probabilité sera marquée par un facteur 2 dans la formule de calcul.

Au contraire, plus il y a de « et », plus le nombre de conditions devant être réunies est grande, plus les probabilités qu'elles le soient sont faibles.

Pour plus de facilité de lecture, la probabilité est calculée sur une base de 10 000 à laquelle sont ajoutées les probabilités des « ou » et retranchées celles des « et ». Les scores ainsi obtenus sont positifs et facilement comparables.

Les dégradations ont ainsi été classées (tableau 1) selon le calcul suivant :

Score = 10 000 - (nombre de « ou » X 2 + nombre de « et »)

Dégradation	Score	classement
Accumulation de spores fongiques	15700	1
Développement de moisissures	13780	2
Accumulation de COVm	13780	3
Air trop humide	13020	4
Accumulation d'agents chimiques provenant du sol	12300	5
Développement de bactéries	11960	6
Débit trop faible	11790	7
Air trop chaud	10060	8
Air trop froid	10060	9
Air trop sec	9930	10
Accumulation de peptidoglycanes	7720	11
Accumulation d'agents chimiques provenant de l'air extérieur	7090	12
Accumulation de particules	6940	13
Accumulation de spores bactériennes	5670	14
Accumulation de toxines bactériennes	3590	15

Tableau 1 : Classement des probabilités de survenue des dégradations de la QAI en lien avec les puits canadiens.

Ce classement est uniquement qualitatif. Les cinq premières dégradations ont été considérées comme très probables, les cinq suivantes comme possibles et enfin les cinq dernières comme peu probables.

## B) Fréquence

La fréquence est le nombre de fois où l'agent considéré se trouve effectivement présent. Ici, en raison du manque de données, elle n'est pas disponible. Toutefois, pour certains agents, la fréquence peut être approchée au moins au niveau de la source.

Quatre classes ont été définies : classe 1 « très souvent », classe 2 « souvent », classe 3 « rarement » et classe 4 « absence de données ».

### a) Agents chimiques provenant du sol

Pour les agents provenant du sol, des statistiques issues de l'analyse des données de la base de données BASOL, disponible sur le site du ministère de l'Écologie [103], du développement et de l'aménagement durables répertorient les sites et sols pollués ou potentiellement pollués appelant une action des pouvoirs publics. Elles sont présentées dans le tableau 2.

Agents	Pourcentages
Hydrocarbures	40.99 %
H.A.P	17.80 %
Pb	18.13 %
Zn	10.36 %
Solvants halogénés	15.37 %
Cr	15.87 %
Cu	14.80 %
As	12.50 %
Ni	10.49 %
Cd	6.40 %

Tableau 2 Nature des agents les plus souvent retrouvés (BASOL, consulté le 03/07/09)

Ces agents ainsi que les agents naturels des sols (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S) ont été jugés très fréquents. Les autres ont été classés dans la catégorie « absence de données ».

*b) Agent chimiques provenant de l'air extérieur*

La plupart des agents chimiques provenant de l'air extérieur sont des agents produits par les gaz d'échappement. Ils ne sont présents qu'en milieu urbain et près des axes routiers ; ils ont donc été classés en classe 2 « souvent ».

*c) Agents chimiques provenant du matériau*

Les données sont très rares. Ils ont été classés en fonction des informations recueillies auprès des professionnels et des utilisateurs. A priori, il y a plus de puits individuels et ceux-ci sont plutôt en plastiques (PVC, PP, PE, PTC) qui seront classés en classe 2 « souvent ». En ce qui concerne les puits de grand format pour le collectif ou le tertiaire ils sont très majoritairement en béton et ciment qui seront aussi en classe 2 « souvent ». Les autres sont rarement utilisés.

*d) Agents d'origine biologique*

- Pollens

La fréquence des pollens a été obtenue en étudiant entre 2000 et 2005, les cartes nationales d'allergie au pollen par taxon proposées sur le site du Réseau National de Surveillance Aérobiologique (RNSA) consulté le 21/07/09. La note « 100 » a été attribuée aux pollens pour lesquels la France entière est supérieure à « moyen » pour le taxon sur la moyenne des cinq années considérées, la note « 10 », à ceux pour lesquels la France entière est supérieure à « très faible » pour le taxon sur la moyenne des cinq années considérées, et la note « 1 » lorsqu'une partie de la France est affectée par l'allergie au taxon sur la moyenne des cinq années considérées. La note « 0 » correspond à l'absence de données suffisantes.

- Bactéries et moisissures

La fréquence des bactéries et des moisissures a été estimée à partir de celle révélée par les mesures de Barbara FLÜCKIGER. *Cladosporium* a été très souvent identifié et en grande quantité. *Penicillium* et *Aspergillus* l'ont été souvent. Les autres rarement. Les mycotoxines et spores ont été classées dans la même catégorie que la moisissure correspondante.

Pour les bactéries, il n'y a avait pas assez de données pour juger de leur fréquence.

C) Durée d'exposition

Cinq niveaux d'exposition ont été distingués : « permanente », « saisonnière », « fréquente » et « ponctuelle ». Ces expositions ont déjà été définies plus haut.

D) Existence d'une valeur sanitaire de référence (VTR ou dose infectieuse...)

L'existence d'une valeur sanitaire de référence a été retenue comme critère parce qu'elle apporte une information utile pour la poursuite de l'étude. En effet, si l'objectif est, à terme, de réaliser une évaluation quantitative des risques sanitaires, l'existence d'une valeur sanitaire de référence est primordiale. Il est jugé qu'il est moins urgent de mesurer ou d'étudier les agents ne disposant pas de valeur sanitaire de référence et ne pouvant donc pas faire l'objet d'une évaluation quantitative par la suite.

E) Gravité des impacts sur la santé

Cinq classes ont été différenciées ici : « mortels », « graves », « moyens », « peu graves », « absence de données ».

La gravité a été jugée surtout en fonction du caractère permanent ou non des effets. C'est un jugement assez incertain, effectué dans la mesure des connaissances et de la compréhension des données par l'auteur.

F) Gravité des impacts sur le confort

Les impacts sur le confort ont été classés en quatre catégories : « insupportables », « gênant », « insignifiants » et « absence de données ». Le jugement c'est surtout porté sur les odeurs pour les agents chimiques ou biologiques et sur l'humidité et la température pour les dégradations physiques. Peu d'agents ou dégradations ont été jugées « insupportables » mais encore une fois, ce jugement est subjectif car les réactions face à l'inconfort sont très variables d'un individu à un autre et très dépendantes des conditions d'exposition.

### 3.1.2 Définition d'un indice d'exposition et d'un indice sanitaire

La méthode de hiérarchisation des agents s'inspire de la méthode mise en œuvre par l'OQAI [111] [114]. Il faut donc définir deux indices : l'un rendant compte de l'exposition, l'autre des effets sur la santé.

#### A) Indice d'exposition

Cet indice est la somme des critères de probabilité, de fréquence et de durée d'exposition qui permettent assez bien de caractériser l'exposition.

#### B) Indice sanitaire

Cet indice est la somme des critères d'existence d'une valeur sanitaire de référence, de la gravité des impacts sur la santé et de la gravité des impacts sur le confort.

Pour que l'indice soit utilisable et donc que l'agent soit classé, il faut qu'au moins deux des trois critères soient remplis. Les agents classés ont donc au moins quatre de leurs six critères renseignés.

### 3.1.3 Choix et utilisation du système de notation

#### A) Présentation du système de notation

Le système de notation a été choisi de manière à faciliter la lecture des scores, la sélection des agents classables et leur classement.

Les catégories à l'intérieur d'un critère sont relatives et en aucun cas quantitative. Une note de 1000 est plus préoccupante qu'une note de 100 mais pas dix fois plus préoccupante.

Les critères ayant été moins sûrs que les autres n'ont pas la notation 1000. C'est le cas de la probabilité, de la fréquence et du confort.

Le tableau 3 présente trois exemples de lecture du score.

Agent	Indice d'exposition	Indice sanitaire	Total	Interprétation
A	1101	201	1302	3 critères renseignés en exposition $\geq 2$ 3 critères renseignés en sanitaire $\geq 2$ L'agent est classable. En tout un critère est très préoccupant, trois sont moyennement préoccupant et deux le sont peu.
B	210	1001	1211	3 critères renseignés en exposition $\geq 2$ 2 critères renseignés en sanitaire $\geq 2$ L'agent est classable. En tout un critère est très préoccupant, deux sont moyennement préoccupant, un est préoccupant et un l'est peu.
C	1000	21	1021	1 critères renseignés en exposition $< 2$ 3 critères renseignés en sanitaire $\geq 2$ L'agent est inclassable.

Tableau 3 : Exemple de lecture de scores de classement des sources de dégradations de la QAI en sortie de puits canadien.

Les notations de l'ensemble des agents sont disponibles en annexe G, annexe H et annexe I.

## B) Présentation de la méthode de classement

Les agents sont classés en quatre classes :

Classe 1 : très prioritaires

Classe 2 : prioritaires

Classe 3 : non prioritaires

Classe 4 : inclassables

Le classement s'effectue grâce à l'indice d'exposition, à l'indice sanitaire et à la figure 4 :



Figure 4 : Classement des sources de dégradation de la QAI liées au puits canadien en fonction de leur indice d'exposition et de leur indice sanitaire

A l'intérieur des classes les agents sont hiérarchisés en fonction du total de leur score, c'est-à-dire la somme de l'indice d'exposition et de l'indice sanitaire.

### 3.1.4 Résultats du classement

L'ensemble des classements sont consultables à l'annexe J pour les agents et dégradations physiques, à l'annexe K pour les agents chimiques et à l'annexe L pour les polluants d'origine biologique.

En tout, 12 agents physiques, 65 agents d'origine biologique et 72 agents chimiques ont été classés.

2 agents physiques sont inclassables, 10 agents d'origine biologique et 17 agents chimiques.

Les tableaux 4, 5 et 6 présentent les cinq premiers agents de chaque classement :

Rang	Dégradation due à	Indice d'exposition	Indice sanitaire	Classe de priorité	Total
1	amiante naturelle	1101	1101	1	21202
2	radon	1110	1002	1	2112
3	PM2.5	1101	1002	1	2103
4	PM10	1101	1002	1	2103
5	humidité trop forte	1200	21	1	1221

Tableau 4 : Classement des cinq premiers agents physiques

Rang	Source	dégradation due à	Indice d'exposition	Indice sanitaire	Classe de priorité	total
1	sol	plomb	1200	1101	1	2301
2	sol	arsenic	1200	1101	1	2301
3	sol	cadmium	1200	1101	1	2301
4	sol	cuiivre	1200	201	1	1401
5	sol	zinc	1200	201	1	1401

Tableau 5 : Classement des cinq premiers agents chimiques

Rang	Dégradation due à	Indice d'exposition	Indice sanitaire	Classe de priorité	Total
1	Spores d' <i>Aspergillus niger</i>	1110	1010	1	2120
2	Spores de <i>Bacillus anthracis</i>	1001	1001	1	2002
3	Spores de <i>Cladosporium bantianum</i>	1200	20	1	1220
4	Spores de <i>Cladosporium cladosporioides</i>	1200	20	1	1220
5	Spores d' <i>Alternaria alternata</i>	1101	20	1	1121

Tableau 6 : Classement des cinq premiers agents d'origine biologique

### 3.1.5 Limites et sensibilité des résultats

Plusieurs éléments sont susceptibles d'influencer les résultats : le choix des critères, celui du nombre de catégories pour chaque critère, la répartition des agents dans les différentes catégories, le système de notation, le système de classement par indice, le système de hiérarchisation par sommation... Une analyse de sensibilité a été menée et est consultable en annexe P.

### 3.1.6 Interprétation et discussion des résultats

Plusieurs difficultés ont été rencontrées lors de la réalisation du classement.

Tout d'abord, le manque de données adaptées au contexte de l'étude est à souligner. En effet, au cours de cette étape de classement des dégradations, l'intégralité des critères n'a pu être renseignée que pour 12 agents physiques sur 14, pour 21 agents chimiques sur 90 et pour 2 agents d'origine biologique sur 75. De nombreux agents ont donc du être classés malgré cette absence de données.

Ensuite, l'analyse de sensibilité a prouvé que les classements des agents obtenus ainsi que leur hiérarchisation sont très sensibles aux différents choix effectués (critères, système de notation et méthode de classement et de hiérarchisation).

Toutefois le classement obtenu est plutôt pessimiste par rapport à ceux étudiés par l'analyse de sensibilité. Il va donc dans le sens de la sécurité. Un nombre important d'agents se retrouve en classe 1 et seront donc étudiés plus en détails par la suite de l'étude. En outre le fait que ces agents, se trouvant en tête de classement, soient bien connus pour leurs effets sanitaires, conforte dans une certaine mesure le classement.

De plus les données utilisées pour renseigner les critères sont pertinentes bien qu'elles ne soient pas parfaitement adaptées au cas des puits canadien, celui-ci n'ayant encore jamais été étudié. Les résultats qualitatifs obtenus devraient donc être suffisants pour remplir les objectifs de l'étude.

Enfin la comparaison des différents classements confirme la nécessité d'étudier séparément les agents physiques, les agents chimiques et les agents d'origine biologique car les effets induits par les agents les mieux classés ne sont pas du tout du même type ni du même ordre (cancer pour les agents chimiques et physiques, allergie et infection pour les agents d'origine biologique).

## **3.2 Classement des facteurs humains et techniques de dégradations**

### **3.2.1 Définition des facteurs humains et techniques de dégradation**

La réalisation des arbres des causes a montré que l'agent n'était pas le seul responsable de potentielles dégradations de la QAI. Plusieurs facteurs peuvent favoriser la survenue d'une dégradation, certains sont même nécessaires. Parmi les trois types de facteurs identifiés seuls les deux suivants peuvent être plus ou moins maîtrisables.

Les facteurs humains identifiés relèvent des choix, des compétences et des actions des personnes intervenant sur le puits canadien.

Les facteurs techniques se réfèrent aux aspects techniques de la réalisation d'un puits tels que les outils, les matériaux et le matériel disponibles, les méthodes et procédures existantes, la précision et la fiabilité des techniques de mesures ou de calculs... Des facteurs définis par les connaissances actuelles pourront être amenés à évoluer dans le futur.

### **3.2.2 Utilisation de la méthode AMDEC**

Les facteurs humains et techniques ont été analysés en utilisant la méthode AMDEC.

L'AMDEC est une technique d'analyse exhaustive et rigoureuse, très efficace par la mise en commun de l'expérience et de la compétence de chaque participant du groupe de

travail. Cette méthode, qui assimile chaque facteur à un défaut, fait ressortir les actions correctives à mettre en place.

Elle permet également d'effectuer une hiérarchisation en fonction de la criticité.

### 3.2.3 Choix et définition des critères

La criticité a été évaluée en fonction des critères suivants : gravité, fréquence/probabilité, détection.

#### A) Gravité

C'est la gravité des impacts des défauts sur le fonctionnement et sur la QAI en sortie du puits canadien.

##### a) Impact sur le fonctionnement

Pour l'impact sur le fonctionnement, sont considérées comme défaillances un arrêt de fonctionnement ou un fonctionnement dégradé si le puits canadien n'assure plus son rôle de ventilation, de préchauffage de l'air ou de refroidissement de l'air. Le caractère permanent ou non et les moyens de remédiations ont également été pris en considération. Le tableau 7 récapitule les différentes classes du critère gravité des impacts sur le fonctionnement.

Gravité (fonctionnement)		
Note	Classe	Signification
3	Très grave	Arrêt permanent ou fonctionnement permanent en mode dégradé
2	Grave	Arrêt temporaire ou fonctionnement temporaire en mode dégradé
1	Peu grave	Pas ou peu d'impact
0	Absence de données	

Tableau 7 : Notation du critère gravité de l'impact sur le fonctionnement du défaut

##### b) Impact sur la santé

Pour l'impact sur la santé, le résultat du classement des dégradations de la QAI a été utilisé. Si l'un des agents appartenant au type de dégradations consécutives au défaut est classé en classe 1 « très prioritaire », l'impact sur la santé est considérée « très grave » dans l'AMDEC. Le tableau 8 récapitule les différentes classes du critère gravité des impacts sur la santé.

Gravité (santé)		
Note	Classe	Signification
3	Très grave	Agent en classe 1 : « très prioritaire »
2	Grave	Agent en classe 2 : « prioritaire »
1	Peu grave	Agents en classe 3 : « peu prioritaire »
0	Absence de données	

Tableau 8 : Notation du critère gravité de l'impact sur la santé du défaut

B) Fréquence ou probabilité

Ce critère sera renseigné après une campagne sur le terrain.

C) Détection

Plusieurs aspects de la détection ont été pris en considération :

- la personne capable d'effectuer la détection (utilisateur, professionnel)
- les moyens nécessaires à la détection (coûts, matériel...)
- la possibilité de la détection (connaissance de ce que l'on cherche, méthodes existantes...)

Le tableau 9 décrit les classes du critère détection du défaut.

Détection		
Note	Classe	Signification
3	Facile	Par l'utilisateur ou l'installateur en utilisant ses sens (vue, odorat, touché...)
2	Difficile	Par un professionnel avec du matériel plus ou moins coûteux qui sait ce qu'il cherche.
1	Très difficile voire impossible	Même par un professionnel parce qu'il ne sais pas quoi chercher, qu'il n'a pas la technique pour le rechercher que ce serait trop coûteux
0	Absence de données	

Tableau 9 : Notation du critère détection du défaut

D) Criticité provisoire

Deux criticités provisoires ont été calculées. La première à partir de la gravité des impacts sur la santé. La seconde, à partir de la gravité des impacts sur le fonctionnement.

Les formules utilisées sont les suivantes :

$$Cs = Gs * D \quad \text{et} \quad Cf = Gf * D$$

Où Cs est la criticité du point de vue de la santé,

Cf est la criticité du point de vue du fonctionnement,

Gf la gravité de l'impact sur le fonctionnement,

Gs, celle de l'impact sur la santé,

D, la détection.

Les notes sont attribuées de telle sorte qu'un défaut très grave aussi bien sur le fonctionnement que sur la santé, très fréquent et facile à détecter obtienne la criticité maximale.

E) Classement des défauts

Le classement provisoire des défauts a été réalisé dans un premier temps en fonction de Cs, car les effets sur la santé sont le centre de cette étude. Toutefois, le puits doit tout de même assurer ses fonctions de ventilation, de préchauffage et de refroidissement de l'air, sans quoi son utilisation ne présente aucun intérêt et la question de la santé ne se pose pas. C'est pourquoi, les défauts ont été classés dans un second temps en fonction de Cf.

De cette manière, le classement accorde plus de poids à la santé des occupants mais prend tout de même en compte le fonctionnement.

Ce classement pourra être complété une fois que des informations sur la fréquence des défauts seront connues.

### 3.2.4 Résultats du classement

Les facteurs qui arrivent en tête de liste sont présentés dans le tableau 10. La plupart des facteurs apparaissent plusieurs fois à des rangs différents en fonction de leurs conséquences directes et indirectes sur la QAI.

Le classement complet est présenté en annexe M.

Rang	Phase	Défaut
1	Conception	Mauvais choix du matériau des tubes
1	Entretien/utilisation	Mauvais entretien de la grille (colmatage, choix, absence)
1	Mise en œuvre	Absence de protection durant transport, stockage et chantier
1	Conception	Mauvais choix des regards
2	Conception	Mauvais choix du matériau des tubes
2	Conception	Mauvais choix de la prise d'air (modèle, emplacement, hauteur...)
2	Conception	Mauvais choix des regards
2	Conception	Mauvaise étude environnementale (vents et précipitations)
2	Entretien/utilisation	Mauvaise utilisation du puits (durée, continuité...)
2	Entretien/utilisation	Panne de la pompe

Tableau 10 : Les dix premiers facteurs de dégradations de la QAI selon l'AMDEC provisoire

### 3.2.5 Analyse de sensibilité des résultats

L'analyse de sensibilité a été réalisée sur le même principe que celle effectuée pour les classements des agents de dégradations. Il n'a pas été jugé utile de la faire figurer en détail dans ce rapport. Une fois encore le classement est assez sensible. Il dépend directement des notes attribuées pour chaque défaut aux différents critères et donc de l'appréciation des évaluateurs.

### 3.2.6 Interprétation et discussion des résultats

La première remarque est le nombre de « scores » de criticité ex aequo. En effet, le classement provisoire ne repose que sur deux critères avec chacun trois degrés de notation. Au regard du nombre de défaut évalués, les notes possibles ne sont donc pas assez nombreuses pour bien les hiérarchiser. Une solution aurait été d'augmenter le nombre de classes par critères mais le manque d'informations disponibles pour effectuer l'évaluation aurait entraîné trop de subjectivité. Le classement bien que plus précis, n'aurait pas eu plus de signification.

Ce classement soulève également la question des défauts classés à différents rangs en fonction de leurs conséquences. En effet, les préconisations pourraient être différentes selon la volonté d'éviter telle ou telle conséquence, favorisant par la même la survenue

d'une conséquence moins bien classée. Il s'agit donc de trouver des compromis et il est préférable de considérer l'ensemble des conséquences qui découlent d'un défaut en particulier même s'il faut privilégier la lutte contre l'une d'entre elles.

Enfin, il faut noter que dans ce classement tous les défauts ont un impact potentiel sur la santé et/ou sur le fonctionnement. Aucun ne peut donc être négligé. Ce classement n'a de valeur que pour indiquer de manière qualitative sur quels défauts concentrer en priorité les efforts humains et techniques.

L'AMDEC est normalement réalisé par un groupe pluridisciplinaire afin d'intégrer toutes les dimensions des défaillances. Dans le cas présent, elle n'a été réalisée que par une seule personne et validée par deux autres. Il est donc possible que des aspects n'aient pas été pris en compte.

## **4 Préconisations et perspectives**

Les préconisations et les perspectives proposées ici doivent permettre au CETIAT et à GDF SUEZ de poursuivre leur étude et de répondre aux attentes de leurs commanditaires.

### **4.1 Poursuite de l'étude**

#### **4.1.1 Problématiques**

Cette étude est pour l'instant une étude prospective. La problématique n'est pas encore parfaitement établie. Or la suite de l'étude et les préconisations qui seront émises à la fin dépendent de cette problématique et des questions auxquelles le CETIAT et GDF SUEZ désireront répondre.

La problématique générale est de savoir si les puits canadiens présentent un risque pour la santé des occupants. Cette question peut recouvrir plusieurs approches possibles dont les implications en termes de coût et possibilités sont très différentes.

Voici quelques approches envisageables à la suite d'après les résultats de cette première partie de l'étude :

A) Savoir si le puits canadien provoque une dégradation de la qualité de l'air intérieur.

La réponse à cette question est difficile à obtenir. Elle nécessite la comparaison entre la qualité de l'air soufflé en sortie de puits canadien et la qualité de l'air dans le bâtiment à différents moments de la journée et de l'année. Les mêmes moyens de mesures doivent être utilisés et ces mesures doivent être effectuées simultanément et ce sur un nombre statistiquement représentatif de bâtiments et d'installations.

B) Savoir si le puits canadien dégrade la qualité de l'air neuf de ventilation.

La réponse à cette question peut être obtenue en comparant la qualité de l'air soufflé en sortie de puits canadien et la qualité de l'air extérieur à différents moments de la journée et de l'année. Il faudrait utiliser exactement les mêmes moyens de mesures et effectuer ces mesures simultanément. Pour être exhaustif, il faut étudier différents environnements (urbain, rural, à proximité d'un champ, d'ICPE...) car la réponse dépend de la qualité de l'air extérieur.

- C) Savoir si l'air en sortie de puits canadien permet de répondre aux exigences de qualité de l'air des différents bâtiments.

Il suffit ici d'effectuer des mesures des agents réglementés et de les comparer aux valeurs seuils réglementaires. Ces valeurs ne sont pas des valeurs sanitaires, elles prennent en compte les moyens de gestion du risque. Ce n'est pas à priori le sujet de cette étude.

- D) Savoir si l'air en sortie de puits canadien présente un risque pour la santé et dans le cas positif, si ce risque est acceptable.

La réponse à cette question nécessite à priori une EQRS. C'est la question qui était envisagée par le CETIAT et GDF SUEZ au commencement de l'étude.

Pour pouvoir évaluer le risque, il faudrait faire cette démarche pour les agents identifiés comme prioritaires dans la présente étude et effectuer des mesures sur un nombre statistiquement représentatif de puits canadien pour chacun des types de bâtiment pouvant être équipés. Or il est possible que le nombre de puits pouvant être investigué soit trop faible et trop peu représentatif pour pouvoir se prononcer.

La possibilité de réaliser une EQRS sera discutée plus loin.

- E) Comparer les impacts sur la QAI des puits canadiens avec les impacts d'autres types de système de ventilation (à condition qu'il y ait des impacts dans les deux cas).

Pour répondre à cette question, il est nécessaire de comparer la qualité de l'air soufflé par un système comprenant un puits canadien et celle d'un système n'en comportant pas. La difficulté réside dans la variabilité de l'air extérieur. Pour que la comparaison soit significative, elle doit avoir lieu au même endroit, donc par la même prise d'air. A défaut on peut peut-être envisager d'effectuer les mesures sur un même système équipé d'un by-pass. Une mesure de la qualité de l'air à l'entrée de la prise d'air du puits et celle à l'entrée de la prise d'air du by-pass permettra de savoir si la comparaison est possible. Bien sûr les mesures doivent être effectuées à différents moment de l'année et pour différents modèles de puits et différents systèmes de ventilation. Selon cette méthode, seuls le puits canadiens et les systèmes mécaniques qui lui sont couplés peuvent être comparés.

Pour comparer les puits canadiens avec d'autres systèmes, il faut obligatoirement instrumenter et comparer plusieurs bâtiments avec les erreurs dues à la variabilité de la qualité d'air en fonction du lieu que cela implique.

Une réponse devrait pouvoir être apportée à cette question. Mais une fois encore, si le nombre de puits étudiés n'est pas statistiquement représentatif, aucune conclusion générale ne pourra être tirée.

- F) Savoir si les puits canadiens peuvent délivrer un air de bonne qualité en sortie et si oui, à quelles conditions.

La première question trouve sa réponse dans l'analyse des arbres des causes. En effet, si ces arbres sont parcourus en faisant l'hypothèse que tous les facteurs maîtrisables sont maîtrisés, de nombreuses branches devraient disparaître. Dans le cas où il ne resterait plus aucune branche, l'air devrait être de bonne qualité. Dans le cas contraire, cela signifie, que quoiqu'on fasse, il ne sera jamais possible d'avoir une qualité d'air non dégradée en sortie de puits canadiens.

Par contre la deuxième question interroge sur les moyens de remédiations et de traitement de l'air. Il faudrait réaliser un puits en respectant toutes les préconisations théoriques (pour savoir si elles sont réalisables), en mettant en place les systèmes de protection adéquat (filtre amont, filtre aval, traitements...), en soignant la maintenance et l'entretien, et en testant régulièrement la qualité de l'air en sortie (mesures des agents classés prioritaires).

#### **4.1.2 Éléments à compléter en poursuivant l'étude**

Certaines informations susceptibles de modifier les résultats de cette première partie de l'étude n'ont pas pu encore être rassemblées. La suite de l'étude pourrait offrir des occasions de les obtenir.

- A) Bibliographie

Il pourrait être utile de poursuivre une veille bibliographique sur les puits canadiens et la QAI en sortie de puits canadiens. En effet, de nombreuses données sont encore manquantes à ce jour. Or les classements proposés dans cette étude sont très sensibles. De nouvelles données pourraient sans doute les modifier. Une mise à jour des classements pourra donc être nécessaire.

- B) Étude de marché

Parmi les nombreuses informations manquantes, celles concernant la quantité de puits canadiens vendus et installés ainsi que les statistiques des différents modèles sont peut-être les plus urgentes. En effet, elles permettraient de mieux comprendre les enjeux économiques et sanitaires en relation avec cet ouvrage. L'ampleur du problème n'est en effet pas la même si quelques centaines de puits sont installés en France, comme l'on suggérés les professionnels interrogés durant l'étude ou si ce chiffre se rapproche plutôt de quelques milliers comme l'affirme M. LOYAU dans son livre [102]. Les moyens nécessaires pour avoir des données représentatives ne seront pas non plus les mêmes. Un état des lieux des puits canadiens en France pourrait aussi se révéler primordial pour la suite de l'étude.

### C) AMDEC

Les mesures effectuées sur le terrain et l'étude de marché proposée, pourraient permettre de compléter le critère fréquence/probabilité de l'AMDEC et donc permettre de réaliser un classement des facteurs humains et techniques en fonction de la criticité complète. Il faudra conseiller aux professionnels et aux utilisateurs de prêter plus d'attention aux facteurs fréquemment rencontrés.

#### 4.1.3 Évaluation quantitative des risques sanitaires (EQRS)

Il semble à priori très difficile de réaliser une évaluation quantitative des risques sanitaires liés à l'utilisation de puits canadien parce que la plupart des données nécessaires sont manquantes et seront sans doute très difficiles à obtenir.

##### A) Concentration de l'agent

Une des principales données manquante pour réaliser une EQRS est la concentration des agents dans le milieu. La concentration des agents peut être obtenue par des mesures ou une modélisation.

##### a) Mesures

- *Recueil d'information sur l'ensemble des puits installés et leur caractéristiques*

Il faut en effet parvenir à connaître avec précision le nombre de puits canadien installés en France. Or il n'existe pas de moyens simples d'avoir accès à cette information. Les puits canadiens n'ont pas besoins de déclaration ou de permis de construire. En outre, les chiffres des filières commerciales et professionnelles ne sont pas non plus de bons indicateurs car de nombreux puits sont construits avec du matériel utilisé de manière détournée (gaines électriques pour les conduits, chapeaux de cheminée pour la prise d'air...) par les particuliers et le recours à un professionnel n'est ni systématique ni une garantie de qualité. Enfin, les caractéristiques des puits canadiens sont très variables quasiment spécifiques à chaque installation.

De la qualité de ce recensement dépend la qualité de l'étude statistique qui en découle. Il doit absolument être sans ambiguïté, exhaustif et sans doublon, c'est-à-dire que les puits canadiens doivent parfaitement être identifiés, qu'ils doivent tous être connus et pris en considération et ne l'être qu'une seule fois.

L'obtention de la liste des puits canadiens installés en France semble donc difficile et coûteuse.

- *Échantillon représentatif*

Selon le nombre de puits recensés, il sera peut-être impossible de tous les étudier. Le tirage d'un échantillon sera alors nécessaire. Ce tirage doit absolument être aléatoire pour avoir une signification probabiliste. De nombreuses méthodes de tirage existent. Une réflexion devra être menée pour choisir la plus adaptée à l'étude en cours.

La taille de l'échantillon dépend de l'intervalle de confiance et du risque d'erreur consenti. Plus la taille d'échantillon est grande, plus l'intervalle de confiance est grand, plus le risque d'erreur est petit. A partir d'une certaine taille d'échantillon, le fait d'augmenter la taille de l'échantillon n'apporte que peu de gain de précision. Généralement, l'intervalle de confiance doit au moins être de 95%. La taille de l'échantillon dépend également du nombre de puits canadiens recensés. Si cet échantillon doit être grand, l'obtention de l'autorisation d'effectuer des mesures dans les puits tirés au sort pourra être difficile. En outre le coût engendré par ces mesures pourrait être très élevé.

- *Mesures précises et répétables*

Les mesures sont généralement réalisées par des laboratoires agréés selon des protocoles normalisés. Ces protocoles sont sensés être élaborés de manière à assurer la précision et la répétabilité des mesures. En outre le fait d'utiliser les mêmes protocoles sur différentes installations permet de comparer les résultats.

- *Résultat représentatifs de l'exposition*

Les résultats doivent être représentatifs de l'exposition à l'agent. Ainsi des mesures différentes devront être effectuées pour les voies respiratoire et orale qui ont été identifiées comme les deux voies prépondérantes dans cette étude. En outre, les concentrations de la plupart des agents sont variables dans le temps. Les mesures devront prendre en compte cette variabilité. Enfin, de nombreux facteurs sont impliqués dans la survenue potentielle de dégradation de la QAI en sortie de puits canadien. Cette étude en a apporté la preuve. Ce sont autant de biais possibles qu'il faudra repérer et considérer lors de l'exploitation des résultats.

Pour toutes ces raisons, il est très peu probable que les mesures effectuées dans le cadre de la suite de l'étude menée par le CETIAT et GDF Suez aient une signification statistique.

Par contre, des mesures peuvent être utiles dans le cadre de diagnostics de la qualité de l'air intérieur en sortie de puits canadiens. Les classements qui ont été réalisés dans cette étude pourraient être utilisés dans cet objectif et les agents identifiés comme prioritaires pourraient être recherchés en premier si les conditions requises pour leur présence sont réunies. Les différentes préconisations en cas de mesures des agents sont décrites en annexe N.

b) *La modélisation*

Étant donné la multiplicité des paramètres à prendre en compte, la diversité des systèmes et des situations et les difficultés pour obtenir les informations, les mesures semblent difficiles à mettre en œuvre et coûteuses. Une alternative pourrait être de s'orienter plutôt vers une modélisation.

En effet, les concentrations des agents sont totalement dépendantes des concentrations extérieures et du passage dans le puits canadien. Or ce passage peut avoir un impact différent selon l'installation. Il pourrait donc être plus facile de réaliser des modèles de puits canadiens avec des paramètres variables pour le système et l'environnement puis d'étudier les variations des concentrations en agents en fonction de ces paramètres. Ensuite, il suffirait de vérifier ces modèles pour quelques agents sur quelques puits canadiens.

Un avantage serait aussi de pouvoir agir en prospectif et de vérifier l'impact de puits canadien avant leur installation et donc de prévenir les difficultés et de modifier les installations.

Toutefois de nombreuses difficultés sont à prévoir.

*Pour les agents du sol*

Chaque agent a sa propre loi de comportement qui n'est peut-être pas encore établie. Les lois de transfert de chacun des agents dans les sols et à travers les matériaux en fonction des propriétés de ces sols et de ces matériaux diffèrent et ne sont peut-être pas encore connus. Or ces lois varient certainement en fonction des facteurs environnementaux, humains et techniques identifiés dans cette étude. En outre, les concentrations des différents agents dans les sols ne sont pas connues et doivent être mesurées au préalable. Enfin les concentrations en sortie dépendent du passage dans le puits, or ce passage dépend lui-même des caractéristiques du puits et il semblerait qu'il n'existe pas deux puits identiques.

*Pour les agents*

Chaque agent a sa propre loi de comportement qui n'est peut-être pas encore établie. Les lois de diffusion de chacun des agents dans l'air ne sont peut-être pas encore connues et ces lois varient certainement en fonction des facteurs environnementaux, humains et techniques identifiés dans cette étude et notamment de l'efficacité de la filtration au niveau de la prise d'air. En outre les concentrations des différents agents dans l'air varient en fonction du lieu et du temps, ne sont peut-être pas connues et doivent être mesurées au préalable. Enfin les concentrations en sortie dépendent du passage dans le puits, or ce passage dépend lui-même des caractéristiques du puits et il semblerait que le nombre de configuration différente pour les puits canadiens soit important.

## B) Autres paramètres

Les autres paramètres devraient pouvoir être obtenus, bien qu'avec difficultés. Parmi ceux-ci, des difficultés particulières sont sûrement à prévoir pour caractériser la durée d'exposition et la population exposée.

En effet, la durée d'exposition dépend de nombreux facteurs : les occupants, le fonctionnement du puits, la présence de l'agent... qui seront peut-être difficiles à renseigner. La population quant à elle sera difficile à identifier pour les mêmes raisons qui rendent difficiles l'inventaire des puits canadiens.

## 4.2 Étude de l'impact de la filtration

La filtration apparaît comme l'unique moyen de préserver et d'améliorer la qualité de l'air en sortie de puits canadien. Son rôle apparaît comme primordial. Or elle n'est pas obligatoire et son impact en fonction des configurations possibles n'a pas été étudié.

### 4.2.1 Impact de la localisation de la filtration

Placée en entrée du puits, la filtration peut permettre d'empêcher l'intrusion de poussières, et de particules depuis l'air extérieur, voir même de gaz dans le cas d'une filtration au charbon actif. Or cela pourrait avoir de grandes conséquences sur la qualité de l'air. En effet, l'étude de l'arbre des causes montre que le dépôt de particules dans le puits a des effets directs sur la santé (PM2.5, PM10, pollen, spores...) mais influence aussi l'accumulation d'agents chimiques ou d'origine biologiques adsorbés sur les poussières et les particules et le développement potentiels de micro-organismes en supprimant la principale source de substrat. Par contre à cet emplacement la filtration n'a aucun impact sur les dégradations qui pourraient se produire dans le puits en cas d'endommagement du puits par exemple...

Placé en sortie de puits, la filtration permet d'intervenir sur la pollution provenant de l'air extérieur mais aussi du sol ou du puits lui-même (développement microbiens, émissions de polluants...). Par contre la qualité de l'air dans le puits lui-même peut être mauvaise car rien n'empêche les particules et poussières d'y pénétrer et de favoriser le développement microbien. Le risque serait donc que la qualité de l'air dans le puits soit trop mauvaise pour que la filtration y remédie (les MCOV par exemple).

L'idéal pourrait être une double filtration en entrée et en sortie. Cela permettrait de réduire en maximum les agents particulaires. Par contre l'entretien et le coût serait peut-être plus important.

Il ne faut pas oublier que les filtres doivent être entretenus où qu'ils soient placés. Il est possible que la durée de vie d'un filtre en sortie de puits soit plus importante que celle d'un filtre en entrée car les particules les plus grosses qui participent le plus au colmatage sédimentent dans le puits. Cela serait à vérifier.

## **4.2.2 Impact du nombre et de la taille de coupure**

La taille de coupure d'un filtre a un impact direct sur les agents qu'il retient. Généralement en ventilation deux types de filtre sont utilisés : les filtres fins (F5 à F9) et les filtre grossiers (G1 à G4). Il existe des filtres au charbon actif pour les gazs. Ces filtres sont couteux et plus ou moins spécifiques de certains gaz. Il semble difficile de les conseiller à priori dans le cas des puits canadien.

Différentes combinaisons pourraient être testées sur les puits canadien en fonction de l'emplacement de la filtration : un filtre grossier, un filtre fin ou un filtre grossier précédent un filtre fin.

Il ne faut pas oublier que les filtres, eux-mêmes, peuvent être des supports de développement microbien en fonction de leur taille de coupure, de leur matériau et de leur temps d'utilisation. Les supports organiques sont ainsi déconseillés pour les filtres fins qui retiennent les moisissures et les bactéries.

## **4.3 Exploitation des résultats**

Même en absence d'EQRS, des mesures de gestion et de précaution peuvent tout de même être prises pour prévenir les dangers en se basant sur les résultats de cette première partie de l'étude.

### **4.3.1 Conseils et préconisations pour les professionnels et les utilisateurs**

Ces conseils sont basés sur l'AMDEC.

#### **A) Professionnels**

##### **a) Bureaux d'étude**

Le choix du matériau apparait comme un des choix les plus importants. Le matériau préconisé doit être étanche et résister aux contraintes mécaniques. Il ne doit pas pouvoir émettre de polluants chimiques ou physiques toxiques et ceci quelques soient les conditions environnementales.

Les moyens de protection contre les intrusions au niveau de la prise d'air doivent être prévus et correctement dimensionnés (chapeau, ailettes, grille, filtre...).

L'accent doit aussi être mis sur l'étude environnementale : sources de pollution de l'air, pollution des sols, nature des roches, hydrogéologie, géotechnique...

Il est formellement déconseillé d'installer un puits sur un site qui risque d'être pollué. De même il est fortement déconseillé d'installer un puits dans la zone de battement d'une nappe libre superficielle. Il sera possible de se référer au « guide d'identification et de gestion des sites pollués » disponible sur le site de l'ADEME [118].

La mise en œuvre, l'entretien et l'utilisation doivent être pris en compte dès la conception et le dimensionnement. Il faut éviter les configurations trop délicates à mettre en œuvre

ou à entretenir (double pente, coudes à 90°...). Il faut prévoir le passage d'appareils de diagnostics et de nettoyage (diamètre, coudes, dénivellations...).

*b) Génie civil, VRD et génie climatique*

Le point le plus important de la mise en œuvre est la protection du matériel durant le transport, le stockage et le chantier. Il faut absolument éviter l'endommagement du matériel (chocs, chutes, forçages...) et les salissures ou intrusions (gravats, animaux...).

L'accent doit être mis sur l'étanchéité (raccords entre les tubes, raccords entre les différentes parties du puits...) et l'évacuation des condensats (choix et installation du système, mise en œuvre d'une pente suffisante et régulière).

*c) Entreprises d'entretien et de diagnostic*

L'entretien et les diagnostics sont déterminants car ce sont souvent les seuls moyens de détecter des problèmes de fonctionnement et des dangers pour la qualité de l'air. Il doit être régulier, minutieux et complet.

**B) Utilisateurs**

Les entretiens prioritaires à la charge de l'utilisateur sont ceux de la grille et du filtre au niveau de la prise d'air.

L'utilisation du puits est également importante. L'utilisateur doit savoir si son puits fonctionne ou non (by-pass), combien de temps il est resté arrêté et évacuer temporairement le bâtiment (une heure environ) lors de la remise en fonctionnement du puits après une longue interruption. Les fenêtres des pièces dans lesquelles l'air est soufflé pourront être ouvertes de manière à accélérer l'évacuation des polluants.

Le puits et son environnement proche doivent être surveillés et entretenus. L'utilisateur doit toujours savoir où se situe son échangeur ; son entrée d'air et ses regards intermédiaires et veiller à ce qu'aucun changement dans l'environnement (plantation d'arbre, nouveau réseau, nouvelle voie de circulation, nouvelle activité...) ne vienne les détériorer ou ne les rende inaccessibles.

#### **4.3.2 Propositions de moyens de communiquer les résultats**

**A) Guide**

Le CETIAT et GDF SUEZ désirent publier des guides pour la obtenir une bonne qualité de l'air en sortie de puits canadiens. Ces documents pourraient permettre de synthétiser l'ensemble des informations concernant les puits canadiens : le principe de fonctionnement, les conseils d'implantation pour un bon rendement énergétique, les conseils pour limiter les coûts économiques, les conseils pour avoir un air en sortie de puits de la meilleure qualité possible.

Il semble important de souligner dans ces guides l'importance de la filtration et de sa place.

#### B) Fiches Agents

Inspirées des modèles des fiches toxicologiques de l'INERIS ou de l'INRS, des fiches Agents, spécifiques au contexte des puits canadiens, peuvent être réalisées à partir des informations contenues dans ce rapport et de celles apportées par la suite de l'étude. Ces fiches concentreront les données sur l'agent, ses sources, ses effets, le risque qu'il représente, les moyens de le détecter et les moyens de le neutraliser.

#### C) Démarche de diagnostic ou d'analyse préventive

Un livret ou un petit logiciel pourrait permettre un diagnostic rapide des installations. En effet, grâce aux arbres des causes qui ont été réalisés durant cette étude, les scénarii potentiels conduisant à une dégradation de la QAI sont connus. Il est donc possible dans le cas d'un constat de dégradation de la QAI d'en retrouver rapidement les causes en fonction des facteurs environnementaux, humains et techniques.

A l'inverse, si durant l'étude environnementale, la réunion de facteurs environnementaux, humains et techniques susceptibles de provoquer des dégradations de la QAI potentielles est détectée, il sera facile d'identifier les dégradations ou agents impliqués et leurs conséquences.

#### D) Fiches suivi du puits

Un problème récurrent à l'heure actuelle en ce qui concerne les puits canadien est le manque de contrôle et de suivis qui rend impossible un retour d'expérience. Pour y remédier il serait intéressant de mettre en place des fiches de suivi qualité des puits : papier ou électronique qui pourraient être utiles en cas d'approfondissement de l'étude ou plus simplement pour l'information des utilisateurs et des intervenants professionnels et pour l'utilisation et l'entretien du puits.

Un jeu de deux fiches et un carnet de suivi pourraient être envisagés.

Les fiches comprendraient une liste des points à vérifier parce qu'identifiés comme pouvant impacter sur la QAI en sortie de puits. Il y en aurait :

- une concernant la conception et le dimensionnement à remplir par le bureau d'études ou la personne en charge de cette phase de la réalisation du puits,
- une pour la mise en œuvre à remplir par le chef de chantier

Le carnet de suivi permettrait de conserver les fiches, d'inscrire les dates, la nature et les résultats des diagnostics et des entretiens, de suivre les variations des paramètres mesurés dans les puits instrumentés.

## Conclusion

Cette étude est une étude prospective qui a cherché à identifier les dégradations potentielles de la qualité de l'air en sortie de puits canadien et les facteurs environnementaux, humains et techniques qui les influencent.

La bibliographie étant très restreinte sur le sujet, l'étude qui a été menée repose essentiellement sur une réflexion et une analyse logique des puits canadiens et de leur impact sur la présence et la concentration de différents agents susceptible de dégrader la QAI.

Trois sources de dégradations ont ainsi été identifiées : l'air extérieur, le sol et les matériaux constituant le puits. De ces trois sources peuvent provenir une grande diversité d'agents potentiellement dangereux pour la santé humaine : des agents physiques, des agents chimiques et des agents d'origines biologiques.

Les agents ainsi identifiés ont été classés en fonction de leur impact potentiel sur la santé et le confort des occupants. Pour cela, des critères d'exposition et des critères sanitaires ont été définis. Le classement obtenu est très sensible. Il dépend de la qualité des données sources, des critères retenus, du système de notation et de l'appréciation de l'évaluateur.

La réalisation d'arbre des causes a permis d'identifier les facteurs influençant la survenue et l'ampleur des dégradations de la QAI. Trois types de facteurs ont ainsi été identifiés :

- les facteurs environnementaux propres au site qui ne peuvent être contrôlés,
- les facteurs humains en liens avec la conception, le dimensionnement, la mise en œuvre, l'utilisation et l'entretien du puits
- et les facteurs techniques spécifiques du matériel constituant le puits canadien et des caractéristiques de son fonctionnement.

Ces facteurs ont eux aussi été classés en utilisant la méthode AMDEC. Les critères définis prennent en compte les gravités des impacts sur la santé des occupants et sur le fonctionnement du puits, la fréquence ou la probabilité de survenue de ces facteurs et les moyens de les détecter. Le classement ainsi obtenu est très sensible à l'appréciation de l'évaluateur.

Finalement, l'étude a permis de classer les agents et les facteurs de dégradation de la qualité de l'air en l'état actuel des connaissances. Toutefois elle ne permet pas de se prononcer sur les risques que l'utilisation de puits canadiens fait courir aux occupants. La réponse à cette problématique nécessite de poursuivre l'étude et d'en préciser les objectifs. La possibilité de réaliser par la suite une EQRS a été envisagée. Cette méthode ne semble pas être la mieux adaptée à la poursuite de l'étude. En effet, de nombreuses informations nécessaires à sa réalisation seront très difficiles à obtenir.

Dans l'impossibilité d'évaluer les risques de manière quantitative, l'alternative est de prendre un maximum de précautions. A cette fin, plusieurs préconisations basées sur les résultats de l'étude peuvent être adressées aux différents professionnels intervenant dans la réalisation d'un puits canadien et aux utilisateurs. De même des moyens de communications et de gestions ont été suggérés afin de limiter les risques.

Si les enjeux sanitaires, économiques et environnementaux, sont encore mal connus à ce jour, ceux liés à la réflexion et à la démarche qui ont été menées ici pourraient se révéler très importants. En effet, dans le but toujours plus affirmé de limiter les dépenses énergétiques liées aux bâtiments, de nouveaux procédés sont constamment en cours de développement. Or les éventuels impacts sanitaires souvent trop peu étudiés si toutefois ils le sont. Il était donc important de mener cette étude sur les puits canadiens.

---

## Bibliographie

---

- [1] ADEME. Dimensionnement du "puits climatique" [en ligne]. 59 p. Disponible sur: <http://www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=9225A17D6E47322E1DE25487798004A31176806431440.pdf>. (consulté le 18.06.2009)
- [2] AFSSE. Impacts sanitaires et énergétiques des installations de climatisation: Établissements de santé, Établissements accueillant des personnes âgées [en ligne]. juillet 2004, 84 p. Disponible sur: [http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/768077240877942669619154331703/climatisation\\_etablissements\\_sante.pdf](http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/768077240877942669619154331703/climatisation_etablissements_sante.pdf) (consulté le 17.06.2009)
- [3] AFSSE. Impacts sanitaires et énergétiques des installations de climatisation: Domicile des particuliers: habitat collectif, habitat individuel [en ligne]. août 2004, 42 p. Disponible sur: [http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/481966581188304630469846114742/03\\_climatisation\\_rapport\\_afsse.pdf](http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/481966581188304630469846114742/03_climatisation_rapport_afsse.pdf) (consulté le 17.06.2009)
- [4] AFSSET. Fiches Santé Environnement. Environnements professionnels [en ligne]. n°20, janvier 2006. Disponible sur: [http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/384605246941912642886513999328/20\\_environnements\\_professionnels.pdf](http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/384605246941912642886513999328/20_environnements_professionnels.pdf) (consulté le 17.06.2009)
- [5] AFSSET. Fiches Santé Environnement. Radon [en ligne]. n°15, janvier 2006. 4 p. Disponible sur: [http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/934449686993988470000820284688/15\\_radon.pdf](http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/934449686993988470000820284688/15_radon.pdf) (consulté le 18.06.2009)
- [6] AFSSET. Fiches Santé Environnement. Substances chimiques [en ligne]. n°13, janvier 2006. 6 p. Disponible sur: [http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/intranetobject-accesparreference/TC%2074/\\$file/tc74.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/intranetobject-accesparreference/TC%2074/$file/tc74.pdf) (consulté le 17.06.2009)
- [7] AFSSET. Fiches Santé Environnement. Environnements domestiques [en ligne]. n°19, avril 2006. Disponible sur: [http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/866620840999079211336988635502/19\\_environnement\\_domestique.pdf](http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/866620840999079211336988635502/19_environnement_domestique.pdf) (consulté le 17.06.2009)
- [8] AFSSET. Fiches Santé Environnement. Pollution atmosphérique urbaine [en ligne]. n°21, juin 2006. Disponibles sur:

[http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/798047812613463729103256779102/21\\_pollution\\_atmospherique\\_urbaine.pdf](http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/798047812613463729103256779102/21_pollution_atmospherique_urbaine.pdf) (consulté le 17.06.2009)

[9] AFSSET. Fiches Santé Environnement. Sites et sols pollués [en ligne]. n°23, juillet 2006. 6p. Disponible sur: [http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/290597035719683547463364478547/23\\_sites\\_sols\\_pollues.pdf](http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/290597035719683547463364478547/23_sites_sols_pollues.pdf) (consulté le 17.06.2009)

[10] AFSSET. Les fibres minérales artificielles siliceuses: Fibres céramiques réfractaires, fibres de verre à usage spécial. Évaluation de l'exposition de la population générale et des travailleurs [en ligne]. avril 2007. 290 p. Disponible sur: [http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/984122194670525373692769644950/fibres\\_minerales\\_artificielles\\_siliceuses\\_2007.pdf](http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/984122194670525373692769644950/fibres_minerales_artificielles_siliceuses_2007.pdf) (consulté le 18.06.2009)

[11] AFSSET. Valeur guide de qualité d'air intérieur: Le monoxyde de carbone [en ligne]. juillet 2007, 73 p. Disponible sur: [http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/611421649658249684013021570308/VGAI\\_monoxyde\\_carbone.pdf](http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/611421649658249684013021570308/VGAI_monoxyde_carbone.pdf) (consulté le 17.06.2009)

[12] AFSSET. Valeur guide de la qualité de l'air intérieur: Le formaldéhyde [en ligne]. juillet 2007, 83 p. Disponible sur: [http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/815908201109553246969584471508/VGAI\\_formaldehyde.pdf](http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/815908201109553246969584471508/VGAI_formaldehyde.pdf) (consulté le 17.06.2009)

[13] AFSSET. Risques sanitaires liés à la présence de formaldéhyde dans les environnements intérieurs et extérieurs: Évaluation des risques sanitaires pour la population générale [en ligne]. mai 2008, 130 p. Disponible sur: <http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/807850205437482879043610336226/afsset-formaldehyde-rapport2.pdf> (consulté le 17.06.2009)

[14] AFSSET. Risques sanitaires liés à la présence de formaldéhyde dans l'environnement intérieur et extérieur: Toxicité du formaldéhyde. Etat des connaissances sur la caractérisation des dangers et choix des valeurs toxicologiques de référence [en ligne]. mai 2008, 88 p. Disponible sur: <http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/637553814598215183911039892564/afsset-formaldehyde-rapport1-vde-170708f.pdf> (consulté le 17.06.2009)

[15] AFSSET. Les éthers de glycol. Synthèse des connaissances sur les expositions de la population générale et professionnelle en France [en ligne]. septembre 2008, 146 p. Disponible sur: [http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/275806516259413151865520013551/ethers\\_glycol\\_sept08.pdf](http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/275806516259413151865520013551/ethers_glycol_sept08.pdf) (consulté le 17.06.2009)

- [16] Agence locale de l'énergie des Ardennes. Le puits canadien (ou puits provençal) [en ligne]. 10 p. Disponible sur : [http://www.federation-flame.org/pdf/Amenagement\\_hab\\_hqe/Puitscanadien.pdf](http://www.federation-flame.org/pdf/Amenagement_hab_hqe/Puitscanadien.pdf). (consulté le 18.06.2009)
- [17] APSAM. Fiche technique : Espaces clos. Le travail en espace clos: dangers et moyens de contrôle [en ligne]. n°18, 2004 . 6 p. Disponible sur: <http://www.apsam.com/publication/fiche/FT18.pdf> (consulté le 17.06.2009)
- [18] APSAM. Les espaces clos. Pour en sortir sains et saufs. Guide de prévention. 2ème édition [en ligne]. 2004, 40 p. Disponible sur: [http://www.apsam.com/publication/guide/guide\\_espaces\\_clos.pdf](http://www.apsam.com/publication/guide/guide_espaces_clos.pdf) (consulté le 17.06.2009)
- [19] BEN-DOV I., AMIRAV I., SHOCHINA M., AMITAI I., BAR-YISHAY E., GODFREY S. Effect of negative ionisation of inspired air on the response of asthmatic children to exercise and inhaled histamine. Thorax, 1983, vol.38, pp. 584-588.
- [20] BERTHIER J. et VALLA G. Moisissures - Mycotoxines et aliments: du risque à la prévention [en ligne]. Disponible sur : <http://handy.univ-lyon1.fr/service/cours/mycot/mycot.html> (consulté le 18.06.2009)
- [21] BILLON-GALLAND M.A, MARTINON L., PASCAL M., DANIAU C. L'amiante dans l'environnement en France: de l'exposition au risque [en ligne]. Géosciences, 2007, n°5, pp. 30-39. Disponible sur: <http://www.brgm.fr/dcenewsFile?ID=311> (consulté le 20.07.2009)
- [22] BLUYSSSEN P.M. Towards and integrative approach of improving indoor air quality. Building and Environment, 2009, vol.44, pp. 1980-1989.
- [23] BRGM. Guide sur le comportement des polluants dans les sols et les nappes. Documents du BRGM 300. Edition 2008. Disponible sur : [www.BRGM.fr](http://www.BRGM.fr) (consulté le 19.05.2009)
- [24] BOUTIN-FORZANO S., KADOUC-CHARPIN C., HAMMOU Y., GOUITAA M., BOTTA A., DUMON H., CHARPIN D. Moisissures domestiques, mycotoxines et risques sanitaires [en ligne]. Environnement, Risques & Santé, 2006, vol.5, n°5, pp.383-389. Disponible sur:[http://www.jle.com/e-docs/00/04/1F/6C/vers\\_alt/VersionPDF.pdf](http://www.jle.com/e-docs/00/04/1F/6C/vers_alt/VersionPDF.pdf) (consulté le 18.06.2009)
- [25] BURGE Harriet A., ROGERS Christine A. Outdoor Allergens [en ligne]. Environmental Health Perspectives, 2000, vol.108, pp. 653-659. Disponible sur: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/picrender.fcgi?artid=1637672&blobtype=pdf> (consulté le 18.06.2009)

- [26] Canada Clim. Condensation dans les puits canadien: mythe ou réalité? [en ligne]. 2006. 13 p. Disponible sur: [http://www.canada-clim.com/IMG/article\\_PDF/article\\_22.pdf](http://www.canada-clim.com/IMG/article_PDF/article_22.pdf) (consulté le 20.07.2009)
- [ 27] CETIAT. Qualité de l'Air dans les Installations Aérauliques. Guide pratique [en ligne]. janvier 2004. 20p. Disponible sur : [http://www.cetiat.fr/fr/publicationsveille/servezvous/guidesgratuits/index.cfm#puits\\_candiens](http://www.cetiat.fr/fr/publicationsveille/servezvous/guidesgratuits/index.cfm#puits_candiens) (consulté le 18.06.2009)
- [28] CETIAT. Les puits canadiens/provençaux. Guide d'information [en ligne]. janvier 2008. 32 p. Disponible sur: [http://www.cetiat.fr/fr/publicationsveille/servezvous/guidesgratuits/index.cfm#puits\\_candiens](http://www.cetiat.fr/fr/publicationsveille/servezvous/guidesgratuits/index.cfm#puits_candiens) (consulté le 18.06.2009)
- [29] Conseil Européen pour Plastifiants et Intermédiaires (ECPI). Centre français d'information sur les phtalates [en ligne]. Disponible sur : <http://handy.univ-lyon1.fr/service/cours/mycot/mycot.html> (consulté le 18.06.2009)
- [30] Conseil supérieur d'hygiène publique de France. Contamination fongiques en milieux intérieurs. Diagnostic, effets sur la santé respiratoire, conduite à tenir [en ligne]. septembre 2006. 101 p. Disponible sur : [http://www.sante.gouv.fr/htm/dossiers/cshpf/r\\_mv\\_0906\\_contamfongiques.pdf](http://www.sante.gouv.fr/htm/dossiers/cshpf/r_mv_0906_contamfongiques.pdf) (consulté le 18.06.2009)
- [31] DE BAUDOIN Clémence. Qualité de l'air intérieur dans les bâtiments de bureaux: spécificités de la problématique et propositions d'études à mener (tome1): Rapport de stage [en ligne]. Mémoire d'ingénieur filière du Génie Sanitaire. Rennes: EHESP, septembre 2006, 137 p. Disponible sur : [http://ressources.ensp.fr/memoires/2006/igs/de\\_baudouin.pdf](http://ressources.ensp.fr/memoires/2006/igs/de_baudouin.pdf) (consulté le 17.06.2009)
- [32] DEOUX S., DEOUX P. Habitat Qualité Santé : clefs en main. Des bâtiments respectant l'homme et l'environnement. Principauté d'Andorre, Medieco editions, 1997, 286 p.
- [33] DERDERIAN S. Le puits canadien: dimensionnement, mise en œuvre et maintenance. Projet de Fin d'Études Ingénieur. Saint-Rémy-Lès-Chevreuse: COSTIC. Mai 2008, 50p.
- [34] DONNELLY J.K., TODD N.J., QURESHI A., TAYLOR C.C. Air ionisation and colonisation/infection with methicillin-resistant *Satphylococcus aureus* and *Acinetobacter* species in an intensive care unit. *Intensive Care Medicine*, 2006, vol. 134, pp. 315-317.

- [35] ESCHLER C.J. Changes in indoor pollutants since the 1950s. Atmospheric Environment, 2009, vol.43, pp.153-169.
- [36] EUZEBY J.P. Abrégé de Bactériologie Générale et Médicale [en ligne]. Disponible sur : <http://handy.univ-lyon1.fr/service/cours/mycot/mycot.html> (consulté le 18.06.2009)
- [37] EUZEBY J.P. Dictionnaire de Bactériologie Vétérinaire [en ligne]. Disponible sur : <http://handy.univ-lyon1.fr/service/cours/mycot/mycot.html> (consulté le 18.06.2009)
- [38] FLÜCKIGER B. Mikrobielle Untersuchungen von Luftansaug-Erdregistern. Thèse en énergétique. Zurich: École polytechnique fédérale de Zurich, 1997, 64p.
- [39] HERVE-BAZIN B., AMBROISE D. Toxicologie de la pollution atmosphérique particulaire globale (PM10 et PM2,5). In: Les nanoparticules. Les Ulis, France: EDP Sciences Editions, 2007, pp. 285-296.
- [40] HERZOG B. Le puits canadien. 1<sup>ère</sup> éd. Eyrolles, Paris, 2007, 116p.
- [41] HOST Sabine. Pollution de l'air intérieur: état des connaissances concernant les effets sanitaires et faisabilité d'une étude épidémiologique en Ile-de-France: Rapport de stage [en ligne]. Mémoire d'ingénieur filière du Génie Sanitaire. Rennes: EHESP, septembre 2005, 68 p. Disponible sur : <http://ressources.ensp.fr/memoires/2005/igs/host.pdf> (consulté le 17.06.2009)
- [42] INERIS. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. Plomb et ses dérivés [en ligne]. 2003. 90 p. Disponible sur: [http://www.ineris.fr/index.php?action=getContent&id\\_heading\\_object=3&module=cms](http://www.ineris.fr/index.php?action=getContent&id_heading_object=3&module=cms) (consulté le 19.06.2009)
- [43] INERIS. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. Dioxyde de soufre SO<sub>2</sub> [en ligne]. 2005. Disponible sur: [http://www.ineris.fr/index.php?action=getContent&id\\_heading\\_object=3&module=cms](http://www.ineris.fr/index.php?action=getContent&id_heading_object=3&module=cms) (consulté le 17.06.2009)
- [44] INERIS. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. Benzaldéhyde [en ligne]. 2005, 31 p. Disponible sur: [http://www.ineris.fr/index.php?action=getContent&id\\_heading\\_object=3&module=cms](http://www.ineris.fr/index.php?action=getContent&id_heading_object=3&module=cms) (consulté le 23.06.2009)
- [45] INERIS. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. Cadmium et ses dérivés [en ligne]. 2005. 60 p. Disponible sur: [http://www.ineris.fr/index.php?action=getContent&id\\_heading\\_object=3&module=cms](http://www.ineris.fr/index.php?action=getContent&id_heading_object=3&module=cms) (consulté le 19.06.2009)

- [46] INERIS. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. Cuivre et composés [en ligne].2005. 66p. Disponible sur:[http://www.ineris.fr/index.php?action=getContent&id\\_heading\\_object=3&module=cms](http://www.ineris.fr/index.php?action=getContent&id_heading_object=3&module=cms) (consulté le 20.07.2009)
- [47] INERIS. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. Oxydes d'azote NOx [en ligne]. 2005. 51p. Disponible sur:[http://www.ineris.fr/index.php?action=getContent&id\\_heading\\_object=3&module=cms](http://www.ineris.fr/index.php?action=getContent&id_heading_object=3&module=cms) (consulté le 17.06.2009)
- [48] INERIS. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. Ozone [en ligne]. 2005. Disponible sur:[http://www.ineris.fr/index.php?action=getContent&id\\_heading\\_object=3&module=cms](http://www.ineris.fr/index.php?action=getContent&id_heading_object=3&module=cms) (consulté le 17.06.2009)
- [49] INERIS. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. Zinc et ses dérivés [en ligne]. 2005, 69 p. Disponible sur:[http://www.ineris.fr/index.php?action=getContent&id\\_heading\\_object=3&module=cms](http://www.ineris.fr/index.php?action=getContent&id_heading_object=3&module=cms) (consulté le 19.06.2009)
- [50] INERIS. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. Arsenic et composés [en ligne]. 2006. 77p. Disponible sur:[http://www.ineris.fr/index.php?action=getContent&id\\_heading\\_object=3&module=cms](http://www.ineris.fr/index.php?action=getContent&id_heading_object=3&module=cms) (consulté le 20.07.2009)
- [51] INERIS. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. Chlorure de vinyle [en ligne]. 2006. 47p. Disponible sur:[http://www.ineris.fr/index.php?action=getContent&id\\_heading\\_object=3&module=cms](http://www.ineris.fr/index.php?action=getContent&id_heading_object=3&module=cms) (consulté le 20.07.2009)
- [52] INERIS. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. Nickel et ses dérivés [en ligne]. 2006. 71p. Disponible sur:[http://www.ineris.fr/index.php?action=getContent&id\\_heading\\_object=3&module=cms](http://www.ineris.fr/index.php?action=getContent&id_heading_object=3&module=cms) (consulté le 20.07.2009)
- [53] INERIS. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. Sulfure d'hydrogène [en ligne]. 2009. 95p. Disponible sur:[http://www.ineris.fr/index.php?action=getContent&id\\_heading\\_object=3&module=cms](http://www.ineris.fr/index.php?action=getContent&id_heading_object=3&module=cms) (consulté le 24.06.2009)
- [54] INRS. Fiche toxicologique. Pentanol [en ligne]. n°206, 1987. 4 p. Disponible sur : <http://www.inrs.fr/inrs->

[pub/inrs01.nsf/inrs01\\_catalog\\_view\\_view/63B1DDB2BD827DB1C1256CE8005B368C/\\$FILE/ft206.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01_catalog_view_view/63B1DDB2BD827DB1C1256CE8005B368C/$FILE/ft206.pdf) (consulté le 17.06.2009)

[55] INRS. Fiche toxicologique. Alcool furfurylique [en ligne]. n°160, 1990. 4 p. Disponible sur : [http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01\\_catalog\\_view\\_view/487744E48BB54313C1256CE8005AF368/\\$FILE/ft160.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01_catalog_view_view/487744E48BB54313C1256CE8005AF368/$FILE/ft160.pdf) (consulté le 17.06.2009)

[56] INRS. Fiche toxicologique. 2-Hexanone [en ligne]. n°122, 1992. 4 p. Disponible sur : [http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01\\_catalog\\_view\\_view/0B35BE15ECC8C876C1256CE8005A5EF1/\\$FILE/ft122.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01_catalog_view_view/0B35BE15ECC8C876C1256CE8005A5EF1/$FILE/ft122.pdf) (consulté le 23.06.2009)

[57] INRS. Fiche toxicologique. Propylèneglycol [en ligne]. n°226, 1994. 4 p. Disponible sur : [http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/FT%20226/\\$File/ft226.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/FT%20226/$File/ft226.pdf) (consulté le 17.06.2009)

[58] INRS. Fiche toxicologique. Disulfure de carbone [en ligne]. n°12, 1997. 6p. Disponible sur: [http://www.inrs.fr/INRS-PUB/inrs01.nsf/inrs01\\_catalog\\_view\\_view/73148912639C3BF1C1256CE8005A355E/\\$FILE/ft12.pdf](http://www.inrs.fr/INRS-PUB/inrs01.nsf/inrs01_catalog_view_view/73148912639C3BF1C1256CE8005A355E/$FILE/ft12.pdf) (consulté le 23.06.2009)

[59] INRS. Fiche toxicologique. Acroléine [en ligne]. n°57, 1999. 6p. Disponible sur: [http://www.inrs.fr/INRS-PUB/inrs01.nsf/inrs01\\_catalog\\_view\\_view/84BBF0BB2DB448BCC1256CE8005B51A7/\\$FILE/ft57.pdf](http://www.inrs.fr/INRS-PUB/inrs01.nsf/inrs01_catalog_view_view/84BBF0BB2DB448BCC1256CE8005B51A7/$FILE/ft57.pdf) (consulté le 23.06.2009)

[60] INRS. Dossier médico-technique. Intoxication par inhalation de dioxyde de carbone [en ligne]. n°79, 1999. 16 p. Disponible sur: [http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/intranetobject-accesparreference/TC%2074/\\$file/tc74.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/intranetobject-accesparreference/TC%2074/$file/tc74.pdf) (consulté le 17.06.2009)

[61] INRS. Fiche toxicologique. 2-Furaldéhyde [en ligne]. n°40, 1999, 4p. Disponible sur: [http://www.inrs.fr/INRS-PUB/inrs01.nsf/inrs01\\_catalog\\_view\\_view/E5E7394B1204CC85C1256CE8005A1DFE/\\$FILE/ft40.pdf](http://www.inrs.fr/INRS-PUB/inrs01.nsf/inrs01_catalog_view_view/E5E7394B1204CC85C1256CE8005A1DFE/$FILE/ft40.pdf) (consulté le 23.06.2009)

[62] INRS. Fiche toxicologique. Acétate d'éthyle [en ligne]. n°18, 2003, 5p. Disponible sur: [http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01\\_catalog\\_view\\_view/62FAD2D4C5C1522DC1256CE8005AF67D/\\$FILE/ft18.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01_catalog_view_view/62FAD2D4C5C1522DC1256CE8005AF67D/$FILE/ft18.pdf) (consulté le 23.06.2009)

- [63] INRS. Fiche toxicologique. Acétone [en ligne]. n°3, 2008, 4p. Disponible sur: [http://www.inrs.fr/INRS-PUB/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/FT%203/\\$File/ft3.pdf](http://www.inrs.fr/INRS-PUB/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/FT%203/$File/ft3.pdf) (consulté le 23.06.2009)
- [64] INRS. Fiche toxicologique. Méthanol [en ligne]. n°5, 2003. 5 p. Disponible sur : [http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/FT%205/\\$File/ft5.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/FT%205/$File/ft5.pdf) (consulté le 17.06.2009)
- [65] INRS. Fiche toxicologique. Cyclohexane [en ligne]. n°17, 2003. 6p. Disponible sur: [http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01\\_catalog\\_view\\_view/2EA7B2BBFAAC7423C1256CE8005A8CCF/\\$FILE/ft17.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01_catalog_view_view/2EA7B2BBFAAC7423C1256CE8005A8CCF/$FILE/ft17.pdf) (consulté le 23.06.2009)
- [66] INRS. Fiche toxicologique. Phtalate de diisodécyle [en ligne]. n°246, 2003, 4p. Disponible sur: [http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01\\_catalog\\_view\\_view/4185C1417D86E94DC1256E16002E08DE/\\$FILE/ft246.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01_catalog_view_view/4185C1417D86E94DC1256E16002E08DE/$FILE/ft246.pdf) (consulté le 19.06.2009)
- [67] INRS. Fiche toxicologique. Phtalate de diisononyl [en ligne]. n°245, 2003, 4p. Disponible sur: [http://www.inrs.fr/INRS-PUB/inrs01.nsf/inrs01\\_catalog\\_view\\_view/D677BDD2A086AE3AC1256D4B0054205E/\\$FILE/ft245.pdf](http://www.inrs.fr/INRS-PUB/inrs01.nsf/inrs01_catalog_view_view/D677BDD2A086AE3AC1256D4B0054205E/$FILE/ft245.pdf) (consulté le 19.06.2009)
- [68] INRS. Fiche toxicologique. Propan-2-ol [en ligne]. n°66, 2003. 5 p. Disponible sur : [http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01\\_catalog\\_view\\_view/F5C08C83821B34FEC1256CE8005A39C8/\\$FILE/ft66.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01_catalog_view_view/F5C08C83821B34FEC1256CE8005A39C8/$FILE/ft66.pdf) (consulté le 17.06.2009)
- [69] INRS. Fiche toxicologique. Acrylonitrile [en ligne]. n°105, 2004. 9p. Disponible sur: [http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01\\_catalog\\_view\\_view/996932A737E10B19C1256CE8005A642D/\\$FILE/ft105.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01_catalog_view_view/996932A737E10B19C1256CE8005A642D/$FILE/ft105.pdf) (consulté le 06.07.2009)
- [70] INRS. Fiche toxicologique. Aldéhyde acétique [en ligne]. n°120, 2004. 6p. Disponible sur: [http://www.inrs.fr/INRS-PUB/inrs01.nsf/inrs01\\_catalog\\_view\\_view/1AC623C582B1A406C1256CE8005A9CEF/\\$FILE/ft120.pdf](http://www.inrs.fr/INRS-PUB/inrs01.nsf/inrs01_catalog_view_view/1AC623C582B1A406C1256CE8005A9CEF/$FILE/ft120.pdf) (consulté le 23.06.2009)
- [71] INRS. Dossier médico-technique. Ambiances thermiques: travail en période de forte chaleurs [en ligne]. 2004. 18 p. Disponible sur : [http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/intranetobject-accesparreference/TC%2097/\\$file/tc97.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/intranetobject-accesparreference/TC%2097/$file/tc97.pdf) (consulté le 18.06.2009)

- [72] INRS. Fiche toxicologique. Glutaral [en ligne]. n°171, 2004, 4p. Disponible sur: [http://www.inrs.fr/INRS-PUB/inrs01.nsf/inrs01\\_catalog\\_view\\_view/E0DBD84A10959954C1256CE8005A7B73/\\$FILE/ft171.pdf](http://www.inrs.fr/INRS-PUB/inrs01.nsf/inrs01_catalog_view_view/E0DBD84A10959954C1256CE8005A7B73/$FILE/ft171.pdf) (consulté le 23.06.2009)
- [73] INRS. Fiche toxicologique. Phtalate de bic(2-éthylhexyle) [en ligne].n°161, 2004, 6p. Disponible sur: [http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01\\_catalog\\_view\\_view/221C6C0248A394A4C1256CE8005B5712/\\$FILE/ft161.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01_catalog_view_view/221C6C0248A394A4C1256CE8005B5712/$FILE/ft161.pdf) (consulté le 19.06.2009)
- [74] INRS. Fiche toxicologique. Xylènes [en ligne]. n°77, 2004. 6p. Disponible sur: [http://www.inrs.fr/INRS-PUB/inrs01.nsf/inrs01\\_catalog\\_view\\_view/DF03CFD2745FA48FC1256CE8005A8063/\\$FILE/ft77.pdf](http://www.inrs.fr/INRS-PUB/inrs01.nsf/inrs01_catalog_view_view/DF03CFD2745FA48FC1256CE8005A8063/$FILE/ft77.pdf) (consulté le 24.06.2009)
- [75] INRS. Fiche toxicologique. 1,4-Dichlorobenzène [en ligne]. n°224, 2004, 6p. Disponible sur: [http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01\\_catalog\\_view\\_view/2577C87EF3969580C1256CE8005A6702/\\$FILE/ft224.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01_catalog_view_view/2577C87EF3969580C1256CE8005A6702/$FILE/ft224.pdf) (consulté le 24.06.2009)
- [76] INRS. Dossier médico-technique. Ambiances thermiques: travailler au froid [en ligne]. 2005. 17 p. Disponible sur :[http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01\\_catalog\\_view\\_view/698CDC6E73471BC8C12571FD0052FD5D/\\$FILE/tc109.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01_catalog_view_view/698CDC6E73471BC8C12571FD0052FD5D/$FILE/tc109.pdf) (consulté le 18.06.2009)
- [77] INRS. Fiche toxicologique. Isobutanol [en ligne]. n°17, 2005. 6p. Disponible sur: [http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01\\_catalog\\_view\\_view/A991F6C1C7E40F49C1256CE8005A6005/\\$FILE/ft117.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01_catalog_view_view/A991F6C1C7E40F49C1256CE8005A6005/$FILE/ft117.pdf) (consulté le 23.06.2009)
- [78] INRS. Fiche toxicologique. N-Méthyl-2-pynolidone [en ligne]. n°213, 2005. 8p. Disponible sur [http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01\\_catalog\\_view\\_view/F2947A0715D6F14CC1256CE8005A3678/\\$FILE/ft213.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01_catalog_view_view/F2947A0715D6F14CC1256CE8005A3678/$FILE/ft213.pdf) (consulté le 23.06.2009)
- [79] INRS. Fiche toxicologique. Butan-1-ol [en ligne]. n°80, 2006, 8p. Disponible sur: [http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01\\_catalog\\_view\\_view/83D4A79E7C270288C1256CE8005A52AE/\\$FILE/ft80.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01_catalog_view_view/83D4A79E7C270288C1256CE8005A52AE/$FILE/ft80.pdf) (consulté le 23.06.2009)
- [80] INRS. Fiche toxicologique. Ethylène-glycol [en ligne]. n°25, 2006. 6 p. Disponible sur : <http://www.inrs.fr/inrs->

- [pub/inrs01.nsf/inrs01\\_catalog\\_view\\_view/9189696F80F06ECDC1256CE8005B350E/\\$FILE/ft25.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01_catalog_view_view/9189696F80F06ECDC1256CE8005B350E/$FILE/ft25.pdf) (consulté le 17.06.2009)
- [81] INRS. Fiche toxicologique. Isoprophone [en ligne]. n°118, 2006. 6p. Disponible sur: [http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01\\_catalog\\_view\\_view/AD6C2CC53475B760C1256CE8005B01EA/\\$FILE/ft118.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01_catalog_view_view/AD6C2CC53475B760C1256CE8005B01EA/$FILE/ft118.pdf) (consulté le 18.06.2009)
- [82] INRS. Fiche toxicologique. Styrène [en ligne]. n°2, 2006, 12p. Disponible sur: [http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01\\_catalog\\_view\\_view/218A8AECA83CB4D1C1256CE8004FB08C/\\$FILE/ft2.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01_catalog_view_view/218A8AECA83CB4D1C1256CE8004FB08C/$FILE/ft2.pdf) (consulté le 24.06.2009)
- [83] INRS. Collection thématique. Radon. 2006, 9p.
- [84] INRS. Fiche toxicologique. 4-Méthylpentan-2-one [en ligne]. n°56. 2006, 8p. Disponible sur: [http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01\\_catalog\\_view\\_view/632D452420A4188FC1256CE8005A6BC8/\\$FILE/ft56.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01_catalog_view_view/632D452420A4188FC1256CE8005A6BC8/$FILE/ft56.pdf) (consulté le 23.06.2009)
- [85] INRS. Fiche toxicologique. Benzène [en ligne]. n°49, 2007. 12p. Disponible sur: [http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01\\_catalog\\_view\\_view/863EBEE5DABAED44C1256CE8005A3104/\\$FILE/ft49.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01_catalog_view_view/863EBEE5DABAED44C1256CE8005A3104/$FILE/ft49.pdf) (consulté le 23.06.2009)
- [86] INRS. Fiche toxicologique. Benzo[a]pyrène [en ligne]. n°114, 2007, 8p. Disponible sur: [http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01\\_catalog\\_view\\_view/102C794010448E4AC1256CE8005A82A2/\\$FILE/ft144.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01_catalog_view_view/102C794010448E4AC1256CE8005A82A2/$FILE/ft144.pdf) (consulté le 24.06.2009)
- [87] INRS. Fiche toxicologique. Biphényles chlorés [en ligne]. n°194, 2007. 6p. Disponible sur: [http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01\\_catalog\\_view\\_view/F21C99B9515FCA77C1256CE8005A54C6/\\$FILE/ft194.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01_catalog_view_view/F21C99B9515FCA77C1256CE8005A54C6/$FILE/ft194.pdf) (consulté le 24.06.2009)
- [88] INRS. Fiche toxicologique. Éthanol [en ligne]. n°48, 2007. 8p. Disponible sur: [http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01\\_catalog\\_view\\_view/7433EFA9BF4C090FC1256CE8005A71D5/\\$FILE/ft48.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01_catalog_view_view/7433EFA9BF4C090FC1256CE8005A71D5/$FILE/ft48.pdf) (consulté le 24.06.2009)
- [89] INRS. Fiche toxicologique. Ethylbenzène [en ligne]. n°266, 2007, 8p. Disponible sur: [http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01\\_catalog\\_view\\_view/9AEEDF146390CF4CC125736F00239C08/\\$FILE/ft266.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01_catalog_view_view/9AEEDF146390CF4CC125736F00239C08/$FILE/ft266.pdf) (consulté le 24.06.2009)

- [90] INRS. Fiche toxicologique. Naphtalène [en ligne]. n°204, 2007, 8p. Disponible sur:  
[http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01\\_ftox\\_view/23C942100A034F1EC1256CE8005A9994/\\$File/ft204.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01_ftox_view/23C942100A034F1EC1256CE8005A9994/$File/ft204.pdf) (consulté le 24.06.2009)
- [91] INRS. Fiche toxicologique. Oxyde de diéthyle [en ligne]. n°10, 2007. 8p. Disponible sur:  
[http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01\\_catalog\\_view\\_view/995BD10ACB6BA726C1256CE8005AAB3A/\\$FILE/ft10.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01_catalog_view_view/995BD10ACB6BA726C1256CE8005AAB3A/$FILE/ft10.pdf) (consulté le 23.06.2009)
- [92] INRS. Fiche toxicologique. 1,1,1-Trichloroéthane [en ligne]. n°26, 2007, 6p. Disponible sur:  
[http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01\\_catalog\\_view\\_view/372516302ED0E4B2C1256CE8005A276B/\\$FILE/ft26.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01_catalog_view_view/372516302ED0E4B2C1256CE8005A276B/$FILE/ft26.pdf) (consulté le 24.06.2009)
- [93] INRS. Fiche toxicologique. Acétone [en ligne]. n°3, 2008, 6p. Disponible sur:  
[http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01\\_catalog\\_view\\_view/0DC2442E694DF895C1256CE8005B47B7/\\$FILE/ft3.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01_catalog_view_view/0DC2442E694DF895C1256CE8005B47B7/$FILE/ft3.pdf) (consulté le 23.06.2009)
- [94] INRS. Fiche toxicologique. Phénol [en ligne]. n°15, 2008, 8p. Disponible sur:  
[http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01\\_catalog\\_view\\_view/C23A3BAAAE5D4096C1256CE8005AFC66/\\$FILE/ft15.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01_catalog_view_view/C23A3BAAAE5D4096C1256CE8005AFC66/$FILE/ft15.pdf) (consulté le 24.06.2009)
- [95] INRS. Fiche toxicologique. Trichloroéthane [en ligne]. n°22, 2008, 12p. Disponible sur:  
[http://www.inrs.fr/INRS-PUB/inrs01.nsf/inrs01\\_catalog\\_view\\_view/3685F4DD36824F32C1256CE8005B5EC4/\\$FILE/ft22.pdf](http://www.inrs.fr/INRS-PUB/inrs01.nsf/inrs01_catalog_view_view/3685F4DD36824F32C1256CE8005B5EC4/$FILE/ft22.pdf) (consulté le 24.06.2009)
- [96] INRS. Fiche toxicologique Toluène [en ligne]. n°74, 2008, 12p. Disponible sur:  
[http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01\\_catalog\\_view\\_view/25510BF9D2C8CEB8C1256CE8005AE3F1/\\$FILE/ft74.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01_catalog_view_view/25510BF9D2C8CEB8C1256CE8005AE3F1/$FILE/ft74.pdf) (consulté le 24.06.2009)
- [97] INRS. Fiche toxicologique. Butanone ou Méthyléthylcétone [en ligne]. n°14, 2009, 8p. Disponible sur:  
[http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01\\_catalog\\_view\\_view/B5EDC814F13B0A36C1256CE8005AAC58/\\$FILE/ft14.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01_catalog_view_view/B5EDC814F13B0A36C1256CE8005AAC58/$FILE/ft14.pdf) (consulté le 23.06.2009)
- [98] INRS. Fiche toxicologique. Tétrachlorométhane [en ligne]. n°8, 2009, 6p. Disponible sur:  
[http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01\\_catalog\\_view\\_view/3613C0EF34944E29C1256CE8005A322A/\\$FILE/ft8.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/inrs01_catalog_view_view/3613C0EF34944E29C1256CE8005A322A/$FILE/ft8.pdf) (consulté le 24.06.2009)

- [99] Institut national de santé publique du Québec. Les risques à la santé à la présence de moisissure en milieu intérieur [en ligne]. novembre 2002, 159 p. Disponible sur: [http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/126\\_RisquesMoisissuresMilieuInterieur.pdf](http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/126_RisquesMoisissuresMilieuInterieur.pdf) (consulté le 17.06.2009)
- [100] JEDOR Béatrice. Qualité de l'air intérieur dans les écoles maternelles et primaires: Spécificités de la problématique et implication en terme d'évaluation et de gestion des risques sanitaires: Rapport de stage [en ligne]. Mémoire d'ingénieur filière du Génie Sanitaire. Rennes: EHESP, septembre 2005, 81 p. Disponible sur : <http://ressources.ensp.fr/memoires/2005/igs/jedor.pdf> (consulté le 17.06.2009)
- [101] LIPIN I., GUR I., AMITAI Y., AMIRAV I. and GODFREY S. Effect of positive ionisation of inspired air on the response of asthmatic children to exercise. Thorax, 1984, vol.39, pp. 594-596.
- [102] LOYAU F. Puits canadien et ventilation basse énergie. Principe et réalisation. 1<sup>ère</sup> éd. Paris, L'inédite, 2009, 96p.
- [103] MATHE F. HOUDRET J.L., GALLOO J.C., GUILLERMO R. La mesure des particules en suspension dans l'air ambiant: Applications dans les réseaux français de surveillance de la qualité de l'air [en ligne]. Analisis Magazine, vol.26, n°9, 1998, 7p. Disponible sur : <http://analisi.edpsciences.org/index.php?option=article&access=standard&Itemid=129&url=/articles/analisi/pdf/1998/09/s040998.pdf> (consulté le 05.08.2009)
- [104] Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement Durables. Pollution des sols [en ligne]. Disponible sur: <http://basol.environnement.gouv.fr/>(consulté le 07.07.09)
- [105] MIQUEL G. Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé [en ligne]. Disponible sur : <http://handy.univ-lyon1.fr/service/cours/mycot/mycot.html> (consulté le 18.06.2009)
- [106] Observatoire régional de l'air en Midi-Pyrénées (ORAMIP). Les fiches polluants [en ligne]. Disponible sur:[http://www.oramip.org/content/oramip/LES\\_POLLUANTS/Les\\_fiches\\_polluants/fiche\\_polluant.php?id=4](http://www.oramip.org/content/oramip/LES_POLLUANTS/Les_fiches_polluants/fiche_polluant.php?id=4) (consulté le 23.07.09)
- [107] Observatoire régional de santé d'Ile- de -France. Pollution de l'air intérieur: Etat des connaissances concernant les effets sanitaires [en ligne]. octobre 2005. 4 p. Disponible sur : [http://www.ors-idf.org/etudes/pdf/4p\\_pollairint.pdf](http://www.ors-idf.org/etudes/pdf/4p_pollairint.pdf) (consulté le 18.06.2009)

- [108] Observatoire régional de santé d'Ile- de -France. Les composés organiques volatils (COV). État des lieux: définition, sources d'émission, exposition, effets sur la santé [en ligne]. décembre 2007, 127 p. Disponible sur: [http://www.ors-idf.org/etudes/pdf/rapport\\_cov\\_final.pdf](http://www.ors-idf.org/etudes/pdf/rapport_cov_final.pdf) (consulté le 17.06.2009)
- [109] OLIVEREAU J.M. L'ionisation atmosphérique et ses conséquences sur le comportement des animaux et de l'homme [en ligne]. L'année psychologique, 1976, vol.76, n°76-1, pp. 213-244. Disponible sur: [http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/psy\\_0003-5033\\_1976\\_num\\_76\\_1\\_28137](http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/psy_0003-5033_1976_num_76_1_28137) (consulté le 25.06.2009)
- [110] OMS. Santé et Qualité de l'air. Site Internet consulté le 25.06.2009. Disponible sur : <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/fr/index.html>
- [111] OQAI. Hiérarchisation sanitaire des paramètres dans les bâtiments par l'observatoire de la qualité de l'air intérieur. 2002. 98p. Disponible sur : [http://www.air-interieur.org/userdata/documents/Document\\_14.pdf](http://www.air-interieur.org/userdata/documents/Document_14.pdf) (consulté le 24.07.09)
- [112] OQAI. Inventaire des données françaises sur la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments : actualisation des données sur la période 2001-2004. 2004, 61p. Disponible sur : [www.air-interieur.org](http://www.air-interieur.org) (consulté le 05/04/09)
- [113] OQAI. Dispositions relatives à l'aération des logements. 2p. Disponible sur : [www.air-interieur.org](http://www.air-interieur.org) (consulté le 05/04/09)
- [114] OQAI. Hiérarchisation sanitaire des paramètres d'intérêt pour l'observatoire de la qualité de l'air intérieur : Application aux phtalates, parafines chlorées à chaine courte, organo-étains, alkyl phénol et retardateurs de flamme bromés. 2005. 55p. Disponible sur : [http://www.air-interieur.org/userdata/documents/Document\\_13.pdf](http://www.air-interieur.org/userdata/documents/Document_13.pdf) (consulté le 24.07.09)
- [115] OQAI. Campagne nationale Logements. État de la qualité de l'air dans les logements français. Rapport final [en ligne]. novembre 2006, 165 p. Disponible sur: [http://www.air-interieur.org/userdata/documents/Document\\_133.pdf](http://www.air-interieur.org/userdata/documents/Document_133.pdf) (consulté le 18.06.2009)
- [116] OQAI. État de la ventilation dans les logements français [en ligne]. juin 2006. 13p. Disponible sur: [http://www.air-interieur.org/userdata/documents/208\\_Dossier\\_Ventilation\\_des\\_logements\\_OK.pdf](http://www.air-interieur.org/userdata/documents/208_Dossier_Ventilation_des_logements_OK.pdf) (consulté le 18.06.2009)
- [117] PASQUALON Lisa. Qualité de l'air intérieur et santé de l'enfant dans le bâtiment. Risques toxiques des matériaux de constructions? Quels moyens d'action pour les concepteurs?: Rapport de stage [en ligne]. Formation continue HQE. Lyon: Ecole Lucie TOME - Mémoire de l'École des Hautes Études en Santé Publique - 2009

d'architecture de Lyon, janvier 2006, 63 p. Disponible sur : [www.lyon.archi.fr/sitehqe/site\\_carnetdevoyage\\_2004/carnetdevoyage/HQE.../hqe...2005/hqe\\_memoire\\_2005.htm](http://www.lyon.archi.fr/sitehqe/site_carnetdevoyage_2004/carnetdevoyage/HQE.../hqe...2005/hqe_memoire_2005.htm) (consulté le 18.06.2009)

[118] PNUE et ADEME. Identification et gestion des sites pollués. Guide méthodologique [en ligne]. 2005. 132 p. Disponible sur: <http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?cid=96&m=3&id=40439&p1=00&p2=11&ref=14231> (consulté le 18.06.2009)

[119] RAVEL David. Évaluation de la qualité de l'air intérieur dans quelques lieux publics en Bourgogne: Rapport de stage [en ligne]. Mémoire d'ingénieur filière du Génie Sanitaire. Rennes: EHESP, septembre 2002, 89 p. Disponible sur : <http://www.bdsp.ehesp.fr/fulltext/show.asp?Url=/ensp/memoires/2002/igs/ravel.pdf> (consulté le 17.06.2009)

[120] Réseau national de surveillance aérobiologique. Les pollens [en ligne]. Disponible sur : <http://www.pollens.fr/le-reseau/les-pollens.php> (consulté le 23.06.2009)

[121] ROULET C.A. Confort et besoins des occupants. **In:** Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments. 2ème éd. Lausanne, Suisse: PPUR presses polytechniques, 2004, pp. 85-121.

[122] ROULET C.A. Comment assurer la qualité de l'air? **In:** Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments. 2 ème éd. Presse polytechniques et universitaires romandes, 2008, pp. 221-250.

[123] Santé Canada. Fiche technique santé/sécurité. Legionella pneumophila [en ligne]. 2001. Disponible sur : <http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds93f-fra.php> (consulté le 17.06.2009)

[124] Santé Canada. Fiche technique santé/sécurité. Bacillus anthracis [en ligne]. 2001. Disponible sur : <http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds12f-fra.php> (consulté le 17.06.2009)

[125] Santé Canada. Fiche technique santé/sécurité. Staphylococcus aureus [en ligne]. 2001. Disponible sur : <http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds143f-fra.php> (consulté le 17.06.2009)

[126] Santé Canada. Fiche technique santé/sécurité. Corynebacterium diphthériae [en ligne]. 2001. Disponible sur : <http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds42f-fra.php> (consulté le 17.06.2009)

- [127] Santé Canada. Fiche technique santé/sécurité. Micrococcus spp. [en ligne]. 2001. Disponible sur : <http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds143f-fra.php> (consulté le 17.06.2009)
- [128] Santé Canada. Fiche technique santé/sécurité. Streptococcus pneumoniae [en ligne]. 2001. Disponible sur : <http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds147f-fra.php> (consulté le 17.06.2009)
- [129] Santé Canada. Fiche technique santé/sécurité. Streptococcus pyogène [en ligne]. 2001. Disponible sur : <http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds148f-fra.php> (consulté le 17.06.2009)
- [130] VIVARAT-PERRIN M.-P. Les mesures d'humidité dans l'air et les gaz [en ligne]. Guide d'achat. Mesures. 2004, pp. 58-67. Disponible sur: <http://www.mesures.com/archives/765GA.pdf> (consulté le 05.08.2009)
- [131] WESCHLER C.J., SALTHAMMER T., FROMME H. Partitioning of phthalates among the gas phase, airborne particles and settled dust in indoor environments. Atmospheric Environment, 2008, vol.42, pp. 1449-1460.
- [132] WESCHLER C.J., NAZAROFF W.W. Semivolatile organic compounds in indoor environments. Atmospheric Environment, 2008, vol.42, pp. 9018-9040.
- [133] WITSCHGER O., FABRIES J.F. Particules ultra-fines et santé au travail [en ligne]. Hygiène et sécurité du travail, 2005, pp.21-35. Disponible sur: [http://www.inrs.fr/INRS-PUB/inrs01.nsf/inrs01\\_catalog\\_view\\_view/295A3A062618D325C1257023004C3B82/\\$FILE/nd2227.pdf](http://www.inrs.fr/INRS-PUB/inrs01.nsf/inrs01_catalog_view_view/295A3A062618D325C1257023004C3B82/$FILE/nd2227.pdf) (consulté le 25.06.2009)



---

## Liste des annexes

---

Annexe A : Tableau des données sanitaires relatives aux dégradations et aux agents physiques.....	1
Annexe B : Tableau des données sanitaires relatives aux agents chimiques provenant du sol .....	3
Annexe C: Tableau des données sanitaires relatives aux agents chimiques provenant de l'air extérieur .....	22
Annexe D: Tableau des données sanitaires relatives aux agents chimiques émis par les matériaux.....	24
Annexe E : Tableaux des données sanitaires sur les agents d'origine biologique .....	26
Annexe F : Facteurs de dégradation de la QAI identifiés par les arbres des causes .....	32
Annexe G : Notation des dégradations et des agents physiques .....	34
Annexe H : Notation des agents chimiques.....	35
Annexe I : Notation des dégradations et des agents d'origine biologique .....	40
Annexe J : Classement des dégradation et des agents physiques .....	47
Annexe K : Classement des agents chimiques .....	48
Annexe L : Classement des agents d'origine biologique .....	51
Annexe M : Tableau AMDEC.....	54
Annexe N : Préconisations en cas de mesures des agents .....	100
Annexe O : Exemple d'arbre des causes : Cas d'une température de l'air soufflé trop chaude.....	109
Annexe P : Analyse de sensibilité du classement des agents de dégradations de la QAI .....	110

## Annexe A : Tableau des données sanitaires relatives aux dégradations et aux agents physiques

Dégradation	Agents		Effet sur la santé	Valeurs sanitaires	Valeur de confort	Source
Débit d'air trop faible	Déficit en O2		Céphalée, sudation, hyperventilation	<15 à 16%	21%	INRS, 1999 [60]
			Stupeur, amnésie, incoordination motrice	<10%		
			Perte de connaissance, arrêt cardio-respiratoire, mortalité	<6%		
	Concentration en polluants intérieur excessive	Concentration en CO2 excessive	Effets peu spécifiques (valeur d'alarme dans un contexte évocateur)	>7%	0.03%	INRS, 1999 [60]
			Pertes de connaissance sans prodromes	>15%		
			Clonies, apnée dans prodromes	>20%		
			Mortalité	>30-40%		
	Humidité	Trop forte	La fonction de sudation n'est plus efficace	70%	-	AFSSE, 2004 [2] [3]
		Trop faible	Irritations des muqueuses respiratoires qui ne jouent plus leur rôles de lutte contre les infections, irritations oculaires	30%	-	
	Température	Trop élevée	Hyperthermie	33°C	25°C	INRS, 2004 [71]
Trop basse		Hypothermie	5°C	15°C	INRS, 2005 [76]	
Écart entre masse d'air		Choc thermique	7°C de moins	-	AFSSE, 2004 [2] [3]	
Combinaison température/humidité			Fatigue	80 à 90 (heat chart index)	-	INRS, 2004 [71]
			Crampes musculaires épuisement physique	90 à 104 (heat chart index)	-	
			Épuisement, coup de chaleur possible	105 à 129 (heat chart index)	-	
			Risque élevé de coup de chaleur	>130 (heat chart index)	-	

Dégradation	Agents		Propriété physico-chimiques	Effets sur la santé	Valeurs sanitaires	Source
ionisation de l'air	ions positifs	N+, CO2+, H+, H3O+, (H3O+)H2O	Taille plus importante, plus stables que les négatifs, plus nombreux	Sensation, de malaise, céphalée, effets négatifs sur le comportement, sur l'agressivité, le stress. Diminution de la soif, de la faim. Diminution de l'activité physique et sexuelle. Diminution du temps de réaction et de l'acuité mentale. Aggravent les effets de l'asthme.	-	OLIVÉREAU J.M., 1976 [109]
	ions négatifs	O-, OH-	Petite taille, peu stables, peu nombreux	Effets contraires aux ions positifs. Sensation de bien-être, euphorie. Amélioration du temps de réaction et de l'acuité mentale. Effet anxiolytique. Effet analgésique et sédatifs. Atténuent les effets de l'asthme. Effets sur la colonisation de certains microorganismes (diminution).	-	
Accumulation de polluants physiques du sol ou du matériau	Radon	Rayonnement ionisant	Gaz radioactif incolore et inodore d'origine naturelle. La désintégration du radon produits des particules radioactives qui s'associe aux particules fines de l'air et émettent un rayonnement ionisant.	Irradiation des cellules pulmonaires et cancer du poumon. classé 1 par le IARC	-	AFSSET, 2006 [5] INRS, 2006 [83]
Concentration de particules	PM2.5		Particules de toute nature chimique, de toute forme dont au moins une dimension est inférieur à 2.5µM.	Pénétration profonde dans l'appareil respiratoire provoquant des inflammations/ oxydations et une altération de la fonction respiratoire dans son ensemble. Aggravation les maladies chroniques préexistantes telles que l'asthme, des bronchites, l'emphysème, des pleurésies. Diminution de la résistance aux infections, effets sur les système immunitaire (macrophages). Effets sur le système cardiovasculaire. Effets mutagènes et cancérigènes possibles selon leur composition.	VG : 10 µg/m3 (OMS)	OMS, 2005 [110]
	PM10		Particules de toute nature chimique, de toute forme dont au moins une dimension est inférieur à 10µm.	à court terme: augmentation des maladies respiratoires, augmentation de la mortalité cardio-pulmonaire, baisse de la capacité pulmonaire à long terme: cancer du poumon	VG : 20 mg/m3 (OMS)	
Accumulation de polluants physiques du sol	amiante naturelle		Fibre fine de petite taille en forme d'aiguille.	*exposition chronique par inhalation: cancer du poumon et cancer de la plèvre. *Classé 1 par le CIRC *non génotoxique *non reprotoxique	VTR sans seuil ingestion : 0.00019 (mg/kg-day)-1 (OEHHA) VTR sans seuil inhalation : 0.063 (ug/cubic meter)-1	InVS et BRGM [21]

## Annexe B : Tableau des données sanitaires relatives aux agents chimiques provenant du sol

Agents	N°CAS	Propriété physico-chimiques	Voie d'exposition	Effets sur la santé	VTR	Source
Les alcools						
méthanol	67-56-1	liquide à température ambiante, inflammable, très volatil	inhalation, ingestion	*inhalation d'une grande quantité de vapeurs d'alcool: syndromes ébrieux ou narcotiques avec nausées, malaises, vomissements et maux de tête *action sélective au niveau du nerf optique pouvant provoquer la cécité ou la mort *irritant pour la peau, les yeux et les muqueuses	à seuil *inhalation : 4000 ug/m3 (OEHHA) *ingestion : 5 x10-1 mg/kg-day (US EPA)	INRS, 2003 [64]
éthanol	64-17-5	liquide à température ambiante, inflammable, très volatil	inhalation, ingestion	*inhalation d'une grande quantité de vapeurs d'alcool: syndromes ébrieux ou narcotiques avec nausées, malaises, vomissements et maux de tête *alcoolémie: incoordinations motrices et excitation intellectuelle *maux de têtes, troubles digestifs et syndrome ébrieux *irritant pour la peau, les yeux et les muqueuses *classé 1 IARC (pour les boissons)		INRS, 2008 [88]
isopropanol	67-63-0	liquide à température ambiante, inflammable, très volatil	inhalation, ingestion	*inhalation: maux de tête, vertige, dépression mentale nausée, vomissement, anesthésie et coma *pas d'information en inhalation chronique autre que légère irritation des yeux et maux de tête *classe 3 par le IARC (cancérogénicité) *non reprotoxique et à priori non mutagène		INRS, 2003 [68]
alcool furfurylique	98-00-0	liquide à température ambiante, inflammable, très volatil	inhalation, ingestion	*irritant pour la peau, les yeux et les muqueuses, larmolements et irritations respiratoires *chronique: rhinite, asthme, conjonctivite, dermatite	à seuil ingestion : 0-0.5 mg/kg bw (OMS, 2000)	INRS, 1990 [55]
alcool isoamylique	123-51-3	liquide à température ambiante, inflammable, très volatil	inhalation, ingestion	*inhalation d'une grande quantité de vapeurs d'alcool: syndromes ébrieux ou narcotiques avec nausées, malaises, vomissements et maux de tête		INRS, 1987 [54]
1,2-Ethanediol	107-21-1	liquide à température ambiante, très volatils	inhalation, ingestion	*inhalation d'une grande quantité de vapeurs d'alcool: syndromes ébrieux ou narcotiques avec nausées, malaises, vomissements et maux de tête	à seuil *ingestion : <b>0.8mg/kg/day (US EPA, 2007)</b> , *inhalation : 400 ug/m3 (OEHHA)	INRS, 2006 [80]
1,2-Propanediol	57-55-6	liquide à température ambiante, très volatils	inhalation, ingestion	*inhalation d'une grande quantité de vapeurs d'alcool: syndromes ébrieux ou narcotiques avec nausées, malaises, vomissements et maux de tête	à seuil *ingestion : 0-25mg/kg/bw (OMS 2002) *inhalation : 0.009 ppm (ATSDR, 1997)	INRS, 1994 [57]

Agents	N°CAS	Propriété physico-chimiques	Voie d'exposition	Effets sur la santé	VTR	Source
Les cétones						
acétone	67-64-1	liquide incolore, très volatil (56, 1°C), odorant, totalement miscible avec l'eau et de nombreux solvant organiques. Stable dans les conditions usuelles.	inhalation	*aiguë: irritation des yeux, des voies aériennes, symptômes neurologiques (céphalées, asthénies, vertige, coma...) et digestif (nausées, vomissements...) atteintes rénales et hépatiques légères possibles. *chronique: irritation des yeux et des voies respiratoires, et symptômes neurologiques (asthénie, somnolence, vertige) * non cancérigène * non génotoxique * non reprotoxique	à seuil *ingestion : 0.9mg/kg/day (US EPA) *inhalation : 13 ppm (ATSDR, 1994)	INRS, 2008 [63]
méthyléthylacétone	78-93-3	liquides incolores, odorant, très volatils (non cycliques), diffusion dans l'atmosphère		irritantes pour les voies respiratoires, la peau et les yeux et agissent sur le système nerveux central. Les premiers symptômes d'une exposition seront la toux, un larmolement, des irritations cutanées mais aussi une diminution de la vigilance, des maux de tête... A plus fortes concentrations ou lors d'expositions répétées peuvent apparaître des dermatoses ou des problèmes digestifs	à seuil <b>*ingestion : 0.6mg/kg/day (US EPA)</b> *inhalation: 5 mg/m3 (US EPA)	INRS, 2009 [97]
méthylisobutylcétone	108-10-1	importante et rapide, inflammables (point éclair au-dessous de 20°C parfois même de 0°C), non corrosives pour les métaux mais attaquent et ramollissent les matières plastiques			à seuil inhalation : 3mg/m3 (US EPA)	INRS, 2006 [84]
méthylbutylcétone	591-78-6					INRS, 1992 [56]
phénylméthylcétone	98-86-2				à seuil ingestion : 0.1mg/kg/day (US EPA)	–
cyclohexanone	108-94-1				à seuil, *ingestion 4.6mg/kg/day (RIVM, 2000) *inhalation : 136 µg/m3 (RIVM, 2000) classé 3 IARC	INRS, 2003 [65]
isophorone	78-59-1				à seuil *ingestion : 0.2mg/kg/day (ATSDR, 1989) *inhalation : 2000 ug/m3 (OEHHA)	INRS, 2006 [81]
N-méthylpyrrolidone	872-50-4					INRS, 2005 [78]

Agents	N°CAS	Propriété physico-chimiques	Voie d'exposition	Effets sur la santé	VTR	Source
<b>Les aldéhydes</b>						
formaldéhyde	50-00-0	Gaz incolore à température ambiante, odeur « piquante »	inhalation	*intoxication aiguë: irritation des yeux, du nez et de la gorge, accompagnée de larmoiements et d'une sécheresse buccale. Effets sur la fonction respiratoire. *exposition chronique: même effets que pour une intoxication aiguë mais pour des concentrations plus faibles. irritation des yeux, de la gorge et des voies respiratoires. Effets sur la capacité respiratoire et phénomène de sensibilisation et de pathologies asthmatiques. *effet cancérigène (nasopharynx) *effets suspectés (neurologiques, reprotoxiques, leucémies, cancers des sinus et de la cavité nasale)	sans seuil inhalation : 6.10-6 (µg.m-3)-1 (OEHHA, 2005)  à seuil *ingestion : 0.2mg/kg/day (ATSDR, 1999) *inhalation : 3 µg.m-3 (>1 an, moy 36 ans) (OEHHA, 1999)	AFSSET, 2007 [134]
acétaldéhyde	75-07-0	liquide incolore, très mobile et très volatil (20.16°C), odorant. Très réactif: polymérisation, addition, condensation...	inhalation	*aiguë: irritation oculaire, irritation des voies aériennes supérieures. *chronique: dermatoses irritative et allergiques, bronchopneumopathie chroniques, effets sur les hépatocytes (alcooliques) *cancérigène chez l'animal, cancérigène possible chez l'homme (CIRC) *mutagène chez l'animal *reprotoxique chez l'animal	à seuil inhalation : 9 ug/m3 (OEHHA)  sans seuil inhalation : 2.2x10-6 per µg/m3 (US EPA)	INRS, 2004 [70]
Benzaldéhyde	100-52-7	liquide, odorant, mobile dans les sols et pouvant se volatiliser. Dégradation par hydrolyse et photolyse.	inhalation	*aiguë: irritation oculaire et irritation des voies respiratoires supérieures *chronique: augmentation de l'incidence des maladies respiratoires, effets sur le système nerveux central (cerveau), les reins, le foie et l'estomac. * non classé cancérigène *non classé mutagène * reprotoxicité non étudiée	à seuil ingestion : 0-5mg/kg/bw (OMS, 1996)	INERIS, 2005 [44]
Butyraldéhyde	123-72-8					
Crotonaldéhyde	4170-30-3			classé 3 IARC		
Furfuraldéhyde	98-01-1	liquide incolore très mobile, odorant. Réagit avec des plastiques	inhalation	*aiguë: irritation des muqueuses oculaires et des voies respiratoires. *chronique: irritation des voies respiratoires, des muqueuses oculaires, céphalées, altération des sens (odorat et goût), possibles altération hépatique, dermatose orthoergiques et allergiques et surtout asthme allergique. *non cancérigène (classé 3 IARC)	à seuil ingestion : 0-0.5mg/kg/bw (OMS, 1996)	INRS, 1999 [61]

Agents	N°CAS	Propriété physico-chimiques	Voie d'exposition	Effets sur la santé	VTR	Source
Les aldéhydes (suite)						
Glutaraldéhyde	111-30-8	liquide huileux ou cristaux incolores, odeur caractéristique. Très réactif: polymérisation. En solution agressif vis-à-vis des métaux.	orale ou cutanée	irritation de la peau, des yeux et des voies respiratoire. Non cancérigène.	à seuil inhalation : 0.08 ug/m3 (OEHHA)	HSDB INRS, 2004 [72]
Hexaldéhyde	66-25-1		orale ou respiratoire	irritation des yeux, du nez et de la gorge. Non cancérigène.		
Propionaldéhyde	123-38-6	liquide, odorant, gaz à 25°C	inhalation	*aiguë: atrophie de l'épithélium olfactif, irritations, perturbations du système cardiovasculaire. *pas d'étude chronique chez l'homme. *génotoxicité non démontrée	à seuil inhalation: 8x10-3 mg/m3 (US EPA)	US EPA, 2008
Valéraldéhyde	110-62-3		inhalation	irritation oculaire		HSDB
Acroléine	107-02-8	liquide incolore ou légèrement jaunâtre, odorant. Peut se dégager sous forme gazeuse lors de combustion (échappement, industries...). Très réactive surtout polymérisation.	inhalation	*aiguë: puissant irritant respiratoire, muqueux et oculaire (parfois jusqu'aux lésions corrosives). Dyspnées, toux, expectorations. Importantes lésions aériennes: œdème sous muqueux du larynx, de la trachées et des bronches, œdème hémorragiques au niveau des alvéoles... possible intoxication systémique avec nausées, vomissement, hyper ou hypotension, crises convulsives, coma... *chronique: non étudié chez l'homme. Chez l'animal: baisse du poids corporel, baisse de la fonction pulmonaire, modifications pathologiques des voies aériennes supérieures, létalité significative. *à priori non mutagène, non cancérigène (classé 3 par IARC) et non reprotoxique	à seuil *ingestion : 5 x10-4 mg/kg-day (US EPA) *inhalation : 0.35 ug/m3 (OEHHA)	INRS, 1999 [93]

Agents	N°CAS	Propriété physico-chimiques	Voie d'exposition	Effets sur la santé	VTR	Source
Les COV						
acétone	67-64-1	Voire rubrique cétones				
acroléine	107-02-8	Voire rubrique aldéhyde				
acrylonitrile	107-13-1	liquide incolore ou jaunâtre, très volatil, odeur légèrement piquante. Se polymérise en présence de l'humidité, attaque les alliages en présence d'eau. Réaction parfois violente avec de nombreux composés (acides forts, oxydants...)	inhalation, ingestion et cutanée.	<p>*aiguë: possiblement mortelle. Irritation des yeux, du nez et des voies respiratoires supérieures. Dans les cas graves, atteintes cardiaques, crises convulsives, coma voire mort.</p> <p>*chronique: irritation de la peau, des yeux, des voies respiratoires mais aussi céphalées, asthénies, nausées, vomissements, diarrhées. troubles du système nerveux central proches des troubles mentaux organiques dus aux solvants ou aux métaux (difficultés de concentration; troubles du sommeil, irritabilité, ... anomalies au niveau du foie et du sang (baisse des hématies et des leucocytes)</p> <p>*mutagène? études contradictoires positif in vitro et négatif in vivo</p> <p>*cancérogène (classé 2B par le CIRC) chez l'animal, système nerveux central, tractus gastro-intestinal et glandes mammaires, chez l'homme on suspecte cancer de la prostate, broncho-pulmonaire, tissus hématopoïétiques.</p> <p>*non reprotoxique</p>	<p>sans seuil:</p> <p>* ingestion: 5.4x10<sup>-1</sup> per mg/kg-day (US EPA)</p> <p>*inhalation 6.8x10<sup>-5</sup> per µg/m<sup>3</sup> (US EPA, 2009)</p> <p>à seuil:</p> <p>*ingestion : 0.04 mg/kg/day (ATSDR, 1984)</p> <p>*inhalation : 2x10<sup>-3</sup> mg/m<sup>3</sup> (US EPA, 2009)</p>	INRS, 2004 [69]
n-butanol	71-36-3	liquide incolore, sirupeux, odorant, miscible dans l'eau et les solvants. Point d'ébullition 116 à 118°C. Stable dans des conditions usuelles.	inhalation	<p>*aiguë: irritations de la gorge et des yeux (24ppm) pouvant s'accompagner de céphalées (50ppm). Pour des doses plus importantes (100ppm) les céphalées s'aggravent et s'accompagnent de vertiges, malaises, somnolences.</p> <p>*chronique: légère diminution du nombre d'érythrocytes, oedème cornéen et conjonctival se traduisant pas des troubles de la vision, larmoiement, photophobie.</p> <p>*pas de données pour la cancérogénicité</p> <p>*pas de données pour les effets mutagènes et reprotoxiques.</p>		INRS, 2006 [79]

Agents	N°CAS	Propriété physico-chimiques	Voie d'exposition	Effets sur la santé	VTR	Source
Les COV (suite)						
sulfure de carbone	75-15-0	liquide incolore, très volatil (46°C), légèrement odorant, peu soluble dans l'eau, mais très solubles dans de nombreux solvants organiques. Se décompose à la lumière, à la chaleur, réagit avec les oxydants forts,	inhalation	<p>*aiguë: atteintes du système nerveux central (céphalées, tremblements, vertiges, hallucinations, troubles comportementaux, mouvements désordonnés, troubles de la marche) avec fréquemment des troubles digestifs. En cas d'intoxication grave: narcose, coma convulsif avec défaillance respiratoire par paralysie des muscles respiratoires, voire décès.</p> <p>*chronique: système nerveux central: troubles neurocomportementaux (fatigue, irritabilité, céphalées, problèmes de concentration, troubles de la mémoire, du sommeil et de la libido, vertige, perte de poids, diminution de la force musculaire, tendance dépressive voire schizophrénie ou psychose maniaco-dépressive) organes des sens: rétinopathie bilatérale, perturbation de la vision des couleurs, phénomènes dégénératif au niveau rétinien, troubles de l'accommodation; anomalie de la motricité oculaire, atrophie du nerf optique (cécité rare). Certains sujets se sont plaints d'hypoacousie. appareil cardio-vasculaire: troubles de la tension qui pourraient être dus à une dérégulation du système nerveux végétatif, augmentation des maladies cardiaques. appareils respiratoire: augmentation de la fréquence des maladies respiratoires aiguës, sensibilité accrue au virus de la grippe. appareil digestif: troubles digestifs (nausées, vomissements, gastrite chronique, anorexie...) et atteinte hépatique. Possible atteinte pancréatique. appareil uro-génital: troubles menstruels chez la femme en rapport avec un désordre hormonal, diminution de la libido, trouble de la spermatogénèse et perturbation hormonal chez l'homme. bouche: détérioration de la muqueuse buccale glandes endocrines *études sur le pouvoir cancérogène divergentes. * pas de données concernant les effets génotoxiques * effets reprotoxique (chez l'homme)</p>	à seuil *ingestion : 0.1mg/kg/day (US EPA) *inhalation : 7x10 <sup>-1</sup> mg/m <sup>3</sup> (US EPA)	INRS, 1997 [58]
cyclohexane	110-82-7	liquide incolore, mobile, odorant, pratiquement insoluble dans l'eau mais miscible dans de nombreux solvants organiques, volatil (80.7°C). Stable chimiquement.	inhalation	<p>*aiguë: Céphalées irritation des yeux et de la gorge. Dépresseur du système nerveux central. Vertige, perte de conscience, tremblements, aréflexie, accompagnés de nausées, parfois collapsus cardio-vasculaire pouvant être mortel.</p> <p>*chronique: cyclohexane pas étudié seul. à priori pas d'effets chroniques (animal). * non cancérogène * non génotoxique * non reprotoxique</p>	à seuil, inhalation : 6 mg/m <sup>3</sup> (US EPA)	INRS, 2003 [65]

Agents	N°CAS	Propriété physico-chimiques	Voie d'exposition	Effets sur la santé	VTR	Source
Les COV (suite)						
méthyl ethyl cétone	78-93-3	liquide incolore, volatil (79.6°C), très odorant, très soluble dans l'eau mais miscible dans la plupart des solvants organique. Stable dans les conditions usuelles mais peut réagir avec des oxydants puissants. Réagit avec certains plastiques.	inhalation	*aiguë: irritation des muqueuses (oculaire, nasales, pharyngées). A des doses plus élevées troubles digestifs, céphalées, effets sur le système nerveux central (confusion) et sur le système respiratoire. *chronique: pas ou peu de données, à priori pas ou peu d'effets. *non cancérigène (manque de données chez l'homme) *non mutagène * non reprotoxique (manque de données chez l'homme)		INRS, 2009 [97]
méthyl isobutyl cétone	108-10-1	liquide incolore, volatil (116°C), odorant, totalement miscible dans la plupart des solvants organiques mais peu soluble dans l'eau. Stables dans les conditions d'utilisation, oxydé par les oxydants puissants. Dissout ou ramollit de nombreux plastiques.	inhalation orale	*aiguë: odeur puis irritation des yeux, du nez, de la gorge. Parfois céphalées, nausées, anorexies, rares irritations des voies respiratoires, voire diarrhées, vomissements. Chez l'animal, effets sur le système nerveux central. *chronique: pas de données interprétables chez l'homme. Chez l'animal, effets sur le foie, les reins et le système nerveux central. *non génotoxique chez les animaux *pas de données sur la cancérigénicité. *effets foetotoxiques chez l'animal.	à seuil inhalation : 3 mg/m3 (US EPA)	INRS, 2006 [84]
styrène	100-42-5 9003-56-9	liquide incolore à jaunâtre, visqueux, odorant, peu soluble dans l'eau mais miscible dans la plupart des solvants organiques. Point d'ébullition: 145-146°C. Composé réactif qui se polymérise et s'oxyde facilement. Réactions lente à température ambiante et à l'obscurité. Réagit avec les oxydants forts. Dissout certains plastiques.	Inhalation ingestion	*aiguë: atteinte du système nerveux central (céphalées, vertiges, somnolence, troubles de la coordination, asthénie, modification aux tests psychomoteurs). Irritation des muqueuses nasales. Irritation des yeux. *chronique: atteintes du système nerveux central (céphalées, nausées, vertiges, sensations d'ébriétés, pertes d'équilibre, signes d'incoordination). Résultats divergeant pour les atteintes du système nerveux périphériques. Modification de la perception des couleurs. Irritation oculaire, nasale, de la gorge et des voies aériennes inférieures. Effets possibles sur le sang, les reins, les hormones et le foie. * manque de données concernant le caractère génotoxique * classé 2B par le IARC pour son caractère cancérigène * manque de données concernant le caractère reprotoxique mais à priori non reprotoxique.	à seuil *ingestion : 0.1mg/kg/day (US EPA) *inhalation : 900 ug/m3 (OEHHA)	INRS, 2006 [82]
trétradrofuranne						
acétate de vinyle	108-05-4					

Agents	N°CAS	Propriété physico-chimiques	Voie d'exposition	Effets sur la santé	VTR	Source
Les COV (suite)						
acétate d'éthyle	141-78-6	liquide incolore, odorant, peu miscible dans l'eau mais soluble dans de nombreux solvants organiques, point d'ébullition 77°C. Stable chimiquement dans des conditions usuelles mais s'hydrolyse rapidement en présence d'eau (même teneur atmosphérique) formant de l'acide acétique et de l'éthanol. Peut réagir avec certains plastiques.	inhalation	*aiguë: irritant pour les muqueuses (nez, pharynx et yeux). Propriétés anesthésiques à forte dose. A fortes doses également, céphalées, vertiges, sensations d'ébriété suivis d'un collapsus cardio-vasculaire et d'un coma (10 000 ppm). *chronique: effets irritatifs, peut-être cumulatifs. effet possibles sur le sang (plaquettes, anémie). participe au psychosyndrome organique à aux solvant: irritabilité, troubles de la concentration, troubles du sommeil, troubles de la mémoire, baisse d'efficience intellectuelle. Irritation chronique des yeux. *à priori non cancérigène * non mutagène * non reprotoxique		INRS, 2003 [62]
éther éthylique	60-29-7	liquide incolore, très faiblement visqueux, odorant, peu soluble dans l'eau mais soluble dans le plupart des solvants organiques. Point d'ébullition: 34.6°C. Stable dans les conditions usuelles, s'oxyde lentement en présence de lumière et au contact de l'oxygène. réagit avec les matières plastiques.	inhalation	*aiguë: effet narcoleptique (agitation ou somnolence, vomissement et pâleur du visage, réduction de la fréquence cardiaque et de la température, irrégularité respiratoires et relaxation musculaire). Effets secondaires (vomissements, salivation; céphalées, état d'excitation ou de dépression, irritation des voies respiratoires). irritant moyen des voies respiratoires (200ppm). *chronique: perte d'appétit, fatigabilité, ébriété, excitations et troubles psychiques parfois polynucléose et hyperalbuminémie. peu d'effets, troubles digestifs, céphalée. Parfois apparition d'une conduite toxicomanique pouvant conduire à un état confusionnel. *classé 3 par le CIRC * pas de données pour les effets mutagènes * effets reprotoxiques probables (augmentation du nombre de fausses couches et de petits poids à la naissance).		INRS, 2007 [91]
isobutanol	78-83-1	liquide incolore, odorant, miscible dans l'eau et la plupart des solvants organiques. Point d'ébullition: 108°C). Stable dans les conditions usuelles. S'oxyde à l'air.	inhalation	*aiguë: irritation des yeux, du nez et de la gorge avec céphalées, vertiges et somnolence. *chronique: pour des concentrations élevées mais non précisées, irritation des yeux et de la gorge, kératite vacuolaire, perte d'appétit et de poids. * non cancérigène chez l'animal * non mutagène chez l'animal * non reprotoxique chez l'animal		INRS, 2005 [77]
méthanol	67-56-1	Voir rubrique alcool				

Agents	N°CAS	Propriété physico-chimiques	Voie d'exposition	Effets sur la santé	VTR	Source
Les CAV et BTX						
benzène	71-43-2	liquide incolore, odorant, pratiquement immiscible dans l'eau mais miscible dans la plupart des solvants organiques. Point d'ébullition: 80.1°C. Stable chimiquement.	inhalation, orale	<p>*aiguë: toxicité aiguë faible pour le benzène (irritation persistantes sur la peau et l'œil),</p> <p>*chronique: cible système hématopoïétique avec diminution des globules blancs, des globules rouges et de nombreuses cellules souches. Cause un syndrome psycho-organique (irritabilité, diminution des capacités de concentration, de mémorisation, syndrome dépressif, troubles du sommeil... troubles digestifs (nausées, vomissements, épigastralgies) Rôle dans l'hémopathie non maligne.</p> <p>*génétoxique (cellules somatiques et cellules germinales) chez l'animal. non prouvé chez l'homme.</p> <p>*cancérogène (système hématopoïétique et différents tissus d'origine épithéliale) Cancer du système hématopoïétique et lymphopoïétique chez l'homme.</p> <p>* effet sur les testicules mais pas de certitudes concernant le danger pour la fertilité. non toxique pour le développement.</p>	<p>à seuil</p> <p>*ingestion : 0.0005 mg/kg/day (ATSDR, 2007)</p> <p>*inhalation : 0.003ppm (ATSDR, 2007)</p> <p>sans seuil</p> <p>*ingestion : 1.5x10<sup>-2</sup> per mg/kg-day -1 (US EPA)</p> <p>*inhalation: 2.2x10<sup>-6</sup> per µg/m<sup>3</sup> -1 (US EPA)</p>	INRS, 2007 [85]
ethylbenzène	100-41-4	liquide incolore, odorant, volatil (point d'ébullition: 136.2°C), pratiquement insoluble dans l'eau, soluble dans la plupart des solvants organiques usuels. Stable dans les conditions usuelles, dégrade des matières plastiques.	inhalation	<p>*aiguë: irritation transitoires des yeux, puis larmoiement, irritation de la muqueuse nasale et du tractus respiratoire supérieur. Y sont associés des signes de dépression du système nerveux central (fatigue, ébriété, marche titubante, incoordination motrice)</p> <p>*chronique: asthénie, céphalée, irritation des yeux et des voies respiratoires, anomalie neurologiques fonctionnelles (syndrome psycho-organique). Parfois, perturbations hématologiques et désordres hépatiques.</p> <p>* pas de données suffisantes concernant le caractère mutagène</p> <p>*pas de données suffisantes concernant le caractère cancérogène</p> <p>*pas de données suffisantes concernant le caractère reprotoxique</p>		INRS, 2007 [89]

Agents	N°CAS	Propriété physico-chimiques	Voie d'exposition	Effets sur la santé	VTR	Source
Les CAV et BTX (suite)						
toluène	108-88-3	liquide incolore, mobile, odorant, pratiquement insoluble dans l'eau mais soluble dans de nombreux solvants organiques. Point d'ébullition: 110.6°C. stable dans les conditions normales d'utilisation. Dégrade les matières plastiques.	ingestion, inhalation	<p>*aiguë: par ingestion, troubles digestifs (douleurs abdominales, nausées, vomissements, diarrhées) dépression du système nerveux central (syndrome ébrieux puis troubles de la conscience), pneumopathie d'inhalation (opacité floconneuses à la radio puis toux, dyspnée, fièvre, parfois arrêt respiratoires)</p> <p>par inhalation, effet sur le système nerveux central (euphorie, hallucinations puis troubles de la conscience et coma). symptômes variant selon la dose (fatigue, céphalées, vertiges, endormissement, faiblesse musculaire, paresthésies, altérations des fonctions cognitives, confusion mentale, troubles de la coordination...). Irritation oculaires et des voies aériennes supérieures, modification cardiovasculaires (modification de la fréquence cardiaque et de la pression diastolique), toxicité hépato-rénale chez le consommateur de drogues.</p> <p>*chronique: pas d'effets spécifiques. syndrome psycho-organique (trouble de la mémoire, de la concentration, de la personnalité, insomnie, diminution des performances intellectuelles...)</p> <p>* classé groupe 3 par le CIRC</p> <p>*effet mutagènes négatifs</p> <p>*produits pouvant avoir des effets sur la reproduction (taux hormonaux, augmentation du nombre de fausses couches tardives, retard de croissance intra-utérine)</p>	à seuil *ingestion : 0.08mg/kg/day (US EPA) *inhalation : 300 ug/m3 (OEHA)	INRS, 2008 [96]
xylène	1330-20-7 8026-09-3	Il existe plusieurs isomères du xylène (o, p et m). Liquides incolores, odorants, pratiquement insoluble dans l'eau mais solubles dans la plupart des solvants organiques. Point d'ébullition entre 138.4 et 144.4°C. Stables dans les conditions usuelles. Ils peuvent détériorer certains plastiques.	ingestion et inhalation	<p>*aiguë: par inhalation, effets sur le système neurologique central (céphalées, asthénies, vertiges, confusion et nausées, puis parfois comas). Altération de la fonction motrice (augmentation du temps de réaction). Irritation des voies respiratoires, irritations oculaires modérées. effets sur le système cardio-vasculaire et toxicité hépatorénale.</p> <p>* chronique: syndrome psycho-organique certain, autres effets non prouvés.</p> <p>*non mutagène</p> <p>*données insuffisantes pour le caractères cancérogène</p> <p>*perturbation du cycle mensuel chez la femme, avortement spontanés et malformations congénitales surtout neurologiques non prouvés (multi-exposition)</p>		INRS, 2004 [74]
styrène	100-42-5 9003-56-9	Voir rubrique COV				

Agents	N°CAS	Propriété physico-chimiques	Voie d'exposition	Effets sur la santé	VTR	Source
Les COHV						
tétrachlorure de carbone	56-23-5	liquide incolore, mobile, odorant, pratiquement insoluble dans l'eau mais miscible dans de nombreux solvants organiques. Point d'ébullition 76.8°C. s'oxyde facilement (sous l'action de la lumière, de la température, de l'humidité). Peut réagir avec les métaux.	inhalation et ingestion	*aiguë: par ingestion, troubles digestifs (nausées, vomissements; douleurs abdominales), atteinte neurologique centrale (céphalées, sensations de vertige, somnolence puis coma), atteintes hépatiques et rénales graves et fréquemment œdème aigu du poumon. par inhalation, troubles de la conscience, et irritations (légers ou absents), effet sur le foie grave. * chronique: peu d'étude, effets sur le foie, le système nerveux central et le système nerveux périphériques. * caner du foie, des voies urinaires et leucémies. 2B par le CIRC. *non génotoxique *effets reprotoxiques chez l'animal (non étudié chez l'homme).	à seuil: *ingestion: 7 x10-4 mg/kg-day (US EPA) *inhalation : 40 ug/m3 (OEHHA)  sans seuil *ingestion: 0.15 (mg/kg-day)-1 (OEHHA) *inhalation: 1.5x10-5 per µg/m3 (US EPA)	INRS, 2009 [98]
1,1,1-trichloroéthane	71-55-6	liquide incolore, volatil (point d'ébullition 74°C), à l'odeur étherée, pratiquement insoluble dans l'eau mais miscible dans la plupart des solvants organiques. Peu stable il se décompose à la chaleur et s'oxyde en formants des composés toxiques.	ingestion, inhalation	*aiguë: par ingestion, douleurs digestives, nausées, vomissements. Par inhalation, anesthésies, troubles de la conscience (sommolence, ébriété, coma), nausées, troubles cardiaques à forte dose (fibrillation ventriculaire) parfois mortels. *chronique: irritation cutanée, oculaire et respiratoire. *non mutagène *non cancérigène *non reprotoxique		INRS, 2007 [92]
trichloroéthylène	79-01-6	liquide incolore, mobile, odorant, pratiquement insoluble dans l'eau mais miscible dans de nombreux solvants organiques. Point d'ébullition 87°C. s'oxyde facilement (sous l'action de la lumière, de la température, de l'humidité). Réaction avec les bases fortes, les oxydants forts.	ingestion, inhalation	*aiguë: troubles digestifs (vomissements, diarrhées), neurologiques (céphalées, ébriété, coma), cardiaques (troubles de l'excitabilité du myocarde, arrêt cardiaque), respiratoire (pneumopathie de déglutition avec parfois possibilité de surinfections broncho-pulmonaires. par inhalation, dépression de la conscience (de l'ébriété au coma), atteinte pulmonaire (irritation du tractus bronchique, polypnée), atteinte cardiaque et parfois hépatique, atteintes neurologiques périphériques (plutôt dues aux produits de dégradation du trichloroéthylène, le dichloroéthylène). *chronique: atteinte du système nerveux, atteintes neuropsychiques (syndrome psychosomatique, syndrome neurovégétatif). Troubles du rythme cardiaque pouvant entraîner la mort. * à priori non mutagène *données insuffisantes pour affirmer le caractère cancérigène du trichloroéthylène chez l'homme *données insuffisantes pour affirmer le caractère reprotoxique du trichloroéthylène chez l'homme	à seuil *ingestion : 50mg/kg/day (RIVM, 2000) *inhalation : 200 µg/m3 (RIVM, 2000)  sans seuil *ingestion : 0.0059 (mg/kg-day)-1 (OEHHA) *inhalation: 0.000002 (ug/cubic meter)-1 (OEHHA, 2003)	INRS, 2008 [95]

Agents	N°CAS	Propriété physico-chimiques	Voie d'exposition	Effets sur la santé	VTR	Source
Les SVOC						
naphtalène	91-20-3	solide blanc (cristaux, poudre, aiguilles ou écailles), à l'odeur de goudron. Il se sublime à température ambiante. Très peu soluble dans l'eau, soluble dans la plupart des solvants organiques.	ingestion et inhalation	*aiguë: par ingestion, troubles digestifs (nausées, vomissements, douleurs abdominales, diarrhées), pour des doses importantes, troubles de la conscience pouvant conduire à un coma convulsif. Hémolyse chez les personnes déficientes en glucose-6-phosphate déshydrogénase, se traduisant pas une insuffisance circulatoire aiguë et une néphropathie anurique. exceptionnellement atteinte hépatique. irritant oculaire. *chronique: malaises, céphalées, vomissements. anémie hémolytique chez des nouveau-nés dont des déficients en glucose-6-phosphate déshydrogénase. effets oculaire. *non génotoxique * classé 2B par le CIRC * foetotoxique pour des doses toxiques pour les mères.	à seuil *ingestion : 2 x10-2 mg/kg-day (US EPA) *inhalation : 3x10-3 mg/m3 (US EPA)  sans seuil *inhalation : 0.00034 (ug/cubic meter)-1 (OEHHA)	INRS, 2007 [90]
indène	95-13-6		inhalation et contact, ingestion	irritation des muqueuses		HSDB
dichlorobenzène	106-46-7	solide cristallin blanc, sublimable à température ambiante, odorant, pratiquement insoluble dans l'eau, soluble dans plusieurs solvants organiques. Relativement stable, se décompose à température élevée en formant des produits toxiques.	orale ou inhalation	*aiguë: par ingestion, signes bénins (irritation digestive, nausées, vomissements). Pour des doses fortes, signes neurologiques (convulsions, agitation). Atteinte hématologique à type anémie hémolytique possible. Irritant pour la peau, les muqueuses nasales et oculaire et voies respiratoires. *chronique: atteintes neurologiques, associées à des anomalies hépatiques voire hématologiques. * classé 2B par le CIRC (foie, rein, leucémie) *non classé mutagène (discordance des résultats) *à priori non reprotoxique	à seuil *ingestion : 0.07mg/kg/day (ATSDR, ,2006) *inhalation: 8x10-1 mg/m3 (US EPA)  sans seuil *ingestion: 0.0054 (mg/kg-day)-1 (OEHHA) *inhalation: 0.00011 (ug/cubic meter)-1 (OEHHA)	INRS, 2004 [75]

Agents	N°CAS	Propriété physico-chimiques	Voie d'exposition	Effets sur la santé	VTR	Source
<b>Les HAP</b>						
benzo(a)pyrène	50-32-8	solide jaune cristallisé, inodore, peu soluble dans l'eau mais soluble dans les solvants organiques, adsorbé sur les particules dans l'air. Peu mobile dans les sols. Peu dégradable.	inhalation ou ingestion de poussières	*aiguë: pas de données chez l'homme. Chez l'animal, retard de développement par ingestion. *chronique: pas de données chez l'homme. Chez l'animal, effets variables selon les individus: pertes de poids, anémie aplasique, pancytomie, voire la mort. *classé 1 par le CIRC (cancer tractus respiratoire supérieur et tractus gastro-intestinal par inhalation et cancer tractus gastro-intestinal, poumons et sang par ingestion) *classé 2 concernant le caractère génotoxique au niveau communautaire *classé 2 effets sur la fertilité et le développement	sans seuil *ingestion : 7.3 per mg/kg-day (US EPA) *inhalation : 0.0011 (ug/cubic meter)-1 (OEHHA)	INRS, 2007 [86]
fluoranthène	206-44-0			classé 3 IARC	à seuil ingestion : 4 x10-2 mg/kg-day (ATSDR, 1995)  sans seuil ingestion : 50 µg/(kg bw.day) (RIVM, 2000)	furetox
phénanthrène	85-01-8			classé 3 IARC	à seuil ingestion : 40 µg/(kg bw.day) (RIVM)	furetox
anthracène	120-12-7 58917-67-2			classé 3 IARC	à seuil ingestion : 3 x10-1 mg/kg-day (US EPA)	furetox
<b>Les Hydrocarbures aromatiques hétérocycliques</b>						
dibenzofurane						
benzothiophène	11095-43-5					
carbazol						
acridine	140460-96-4 140460-97-5 140460-98-6 140461-57-0 260-94-6		ingestion, inhalation et contact	vomissements, difficultés respiratoires, fièvres, cyanoses. Mort possible par collapsus cardiaque à très fortes doses. Irritant pour la peau, les muqueuses, causant démangeaisons, brûlures, éternuements, larmoiements, irritations oculaires		HSDB

Agents	N°CAS	Propriété physico-chimiques	Voie d'exposition	Effets sur la santé	VTR	Source
Phénols	108-95-2	solide cristallisé ou en aiguille incolore lorsqu'il est pur. Assez peu soluble dans l'eau et soluble dans les solvants organiques. Réagit violemment avec les oxydants forts. A chaud, attaque certains métaux et certains plastiques.	ingestion, inhalation ou cutanée	mortel par ingestion à partir d'une certaine dose (50-500mg/kg). Certaines personnes sont hypersensibles et auront des effets létaux et graves pour les expositions chroniques. Effets sur le système nerveux central, sur le cœur, sur les vaisseaux sanguins, les poumons et les reins. délires, coma, détresse respiratoire parfois mort. chronique: effets majeur sur le foie, les reins, les yeux. par inhalation, irritation des voies respiratoires et œdème pulmonaire. classé 3 par le IARC	avec seuil *ingestion : 40 µg/(kg bw.day) (RIVM) *inhalation: 200 ug/m3 (OEHHA)	INRS, 2008 [94]
PCB	11097-69-1 1336-36-3 608-93-5	liquides plus ou moins visqueux ou résineux, incolores ou jaunâtres, solubilité extrêmement faible, stabilité importante, semi-volatils à non volatils. Dissolvent ou ramollissent certains plastiques.	ingestion, inhalation	toxicité faible *aiguë: chez l'animal, effets variables selon les espèces (irritation cutanée, atteintes des yeux, du foie et du sang chez l'homme par ingestion: troubles oculaires, perturbations neurologiques, gastro-intestinales et asthénie. * chronique: chez l'animal, atteinte du système immunitaire. * à priori non mutagène * données insuffisantes concernant le caractère cancérogène (foie, système digestif, peau, leucémie) classé 2B *effet reprotoxiques (anomalies chez les enfants: peau, muqueuses, phanères)	à seuil *ingestion: 0.2µg/kg/day (ATSDR, 2000)  sans seuil *ingestion: 2 (mg/kg-day)-1 (OEHHA) *inhalation: 1x10-4 per µg/m3 (US EPA)	INRS, 2007 [87]
dioxines et furannes	110-00-9	faible solubilité, stabilité importante, non volatils	ingestion, inhalation et contact	dépression, congestion gastro-intestinale, dommages sur le foie, baisse de la pression sanguine, fatigue, céphalées classé 2B par le IARC	à seuil ingestion : 0.001mg/kg/day (US EPA)	HSDB

Agents	N°CAS	Propriété physico-chimiques	Voie d'exposition	Effets sur la santé	VTR	Source
Les gaz						
CH4	537-46-2 57-09-0 74-82-8 82600-58-6					
CO2	124-38-9	gaz incolore, inodore, plus lourd que l'air		paresthésies, palpitations, sensation de fatigue intense et brutale, sensation de faiblesse, sensation de vertige, céphalées, troubles visuels, toux, irritation pharyngée, bouffées de chaleur, Confusion, dyspnée, sensation de brûlure thoracique Perte d'équilibre, irritation des yeux et du nez, nausées, sensation d'oppression thoracique Crampes aux membres inférieurs, douleurs thoraciques.	Fraction inspirée de CO2 > 7 % Effets secondaires peu spécifiques (*), ayant valeur d'alarme dans un contexte évocateur > 15 % Perte de connaissance sans prodromes > 20 % Clonies, apnée sans prodromes > 30-40 % Mortalité	INRS, 1999 [60]
H2S	7783-06-04	gaz incolore, odorant. Rapidement oxydé en présence d'oxygène. Présent dans l'air, l'eau et les sols.	inhalation	*aiguë: mortelle à forte dose (anoxie des cellules). Irritation des yeux, de la gorge, puis des muqueuses oculaires et nasales, puis respiratoires. Effets sur le système respiratoire, sur le système cardio-vasculaire et sur le système nerveux. *chroniques: sensation de malaise (céphalée, asthénie, troubles de la mémoire, nausées, anorexie,...), effet sur le système respiratoire et sur le système nerveux. *non classé génotoxique * non classé cancérigène * non classé reprotoxique		INERIS, 2009 [53]

Agents	N°CAS	Propriété physico-chimiques	Voie d'exposition	Effets sur la santé	VTR	Source
<b>Les métaux</b>						
plomb (carbonate basique de plomb)	7439-92-1 301-04-2 598-63-0 <b>1319-46-6</b> 1317-36-8 1309-60-0 1314-41-6 1314-87-0 7446-14-2	solide cristallisé, non volatil, présent dans l'air adsorbé sur des poussières	voie orale et inhalation	*toxicité aiguë: ingestion, fortes coliques associés à des douleurs et crampes abdominales, atteinte rénale, atteintes du système nerveux central (encéphalopathie convulsive et coma), atteintes hépatiques, parfois décès si prise en charge trop tardive *toxicité chronique (difficulté de différencier voie orale et inhalation donc mesure de la plombémie): effets sur le système nerveux central, sur le système nerveux périphérique, sur le sang, sur les reins, sur le système cardio-vasculaires, sur la thyroïde, sur les os (chez les enfants), sur le système immunitaire *certains composé sont classés cancérigène pour l'Homme (groupe1) mais la plupart sont potentiellement cancérigène pour l'Homme (groupe2B) * reprotoxique *non génotoxique	à seuil *ingestion : 3,6.10-3 mg/kg/j (RIVM, 2001)  sans seuil *inhalation : <b>1,2.10-5 (µg/m3)-1 (OEHHA, 2002)</b> *ingestion : 8,5.10-3 (mg/kg/j)-1 (OEHHA, 2002)	INERIS, 2003 [42]
cuivre et composés	7440-50-8 142-71-2 7758-89-6 7447-39-4 20427-59-2 1317-39-1 1317-38-0 7758-98-7	solide, adsorbé sur des particules. Dans le sol, fixé sur la matière organique et plus ou moins mobiles en fonction du pH, des conditions rédox... Solubilité variable selon les composés.	plutôt voie orale, parfois respiratoire mais voie peu renseignée.	*aiguë: irritant. Par inhalation, fièvre des fumées de métaux (fièvre, céphalées, sécheresse buccale, sueurs froides, douleurs musculaires). Très rares par ingestion. *chronique: par inhalation, irritation des voies aériennes supérieures et troubles gastro-intestinaux (anorexie, diarrhées, nausées). syndrome pulmonaire chez les utilisateurs de bouillies bordelaise (pneumopathie). Effet sur le foie. par Ingestion, organe cible principal, le foie, organes cibles secondaires, le système nerveux central, le cœur, les os et les reins. * pas de classification du CIRC *non classé génotoxique *non classé reprotoxique	à seuil *inhalation: 1 mg/m3 (RIVM, 2001) *ingestion : 140 mg/kg/j (RIVM, 2001)	INERIS, 2005 [46]

Agents	N°CAS	Propriété physico-chimiques	Voie d'exposition	Effets sur la santé	VTR	Source
<b>Les métaux (suite)</b>						
arsenic et composés	7440-38-2 7748-40-9 7778-43-0 1327-53-3 1303-28-2	solide cristallisé. Certains composés sont solubles, d'autres non. Certains composés sont volatiles et d'autres non. Tous sont généralement peu mobiles dans les sols.	orale et un peu inhalation	*aiguë ingestion: effets sur le système gastro-intestinal avec nausées, vomissements, douleurs abdominales, diarrhées... effets sur la circulation sanguine (diminution de la pression artérielle...), Dans les cas sévères, encéphalopathie avec confusion, convulsions, coma, détresse respiratoire, œdème pulmonaire, syndrome de détresse respiratoire aiguë de l'adulte, hépatite, anémie hémolytique, insuffisance rénale... lésions cutanées *chronique: les organes cibles sont la peau, le système cardio-vasculaire, le système nerveux central par inhalation et peau, système cardio-vasculaire et système sanguin (foie) par ingestion *cancérogène pour l'homme (CIRC): cancers du poumons et cancer de la peau *reprotoxique (foetotoxique)	à seuil *orale: 3.10-4 mg/kg/j (ATSDR, 2000)  sans seuil *ingestion 1,5 (mg/kg/j)-1 (US EPA, 1998) *inhalation: 4,3.10-3 (µg/m3)-1 (US EPA, 1998)	INERIS, 2006 [50]
zinc et composés	7440-66-6 7646-85-7 <b>557-05-1</b> 1314-13-2 7779-90-0 7733-02-0	solide cristallisé, non volatil, présent dans l'air adsorbé sur des poussières	inhalation et ingestion	*toxicité aiguë: effets inflammatoire sur les voies respiratoires par inhalation, fièvre des fonceur (inhalation de fines particules de zinc: fièvre, douleurs musculaires, gorge sèche et douloureuse, toux, dyspnée, céphalées, goût métallique dans la bouche), effet cardiaques et gastro-intestinaux *toxicité aiguë par voie orale: vertige, léthargie, difficulté à marcher et à écrire (désordres gastro-intestinaux possibles...) * toxicité chronique: par inhalation, effets sur l'appareil digestifs, appareil respiratoire (poumons) *toxicité chronique par voie orale: effet sur le système digestif, sur le système immunitaire, sur le sang, * non classé pour les effets cancérigènes *non classés pour les effets génotoxiques * non classé pour les effets reprotoxiques	à seuil ingestion : 0,3 mg zinc/kg/j (orale, ATSDR, 1994)	INERIS, 2005 [49]

Agents	N°CAS	Propriété physico-chimiques	Voie d'exposition	Effets sur la santé	VTR	Source
<b>Les métaux (suite)</b>						
nickel et ses dérivés	7440-02-0 13463-39-3 373-02-4 7718-54-9 13138-45-9 1313-99-1 7786-81-4 12035-72-2	solide. La plupart du temps associé à la matière particulaire. Dans les sols, la mobilité du nickel est variable en fonction du pH principalement. Dans l'air il est présent sous forme d'aérosol ou adsorbés sur des particules.	principalement par voie respiratoire et dans une moindre mesure par voie orale	<p>*aiguë: chez l'homme, voie respiratoire : le composé le plus toxique est le tétracarbonylnickel et peut entraîner la mort. La toxicité aiguë se décompose en deux phases : immédiate (maux de tête, vertiges, nausées, insomnie) et retardée (symptôme d'une pneumonie virale avec douleurs de poitrines, toux, cyanose, symptômes gastro-intestinaux, perturbations visuelles et débilite).</p> <p>Chez l'homme, voie orale : L'ingestion de nickel ou d'un de ces composé peut entraîner la mort. Pour des doses moins importantes, observations de nausées, diarrhées, crampes abdominales, maux de tête, sensation ébriété...</p> <p>Chez l'animal, voie orale et respiratoire : plusieurs études réalisées chez des rats et des souris pour plusieurs composés. La toxicité est plus importante pour le tétracarbonylnickel par voie respiratoire, puis pour la voie orale : le sulfate de nickel, l'acétate de nickel, le monoxyde de nickel et enfin le sous-sulfure de nickel.</p> <p>*chronique: chez l'homme, par voie respiratoire. Le système respiratoire est la principale cible du nickel.</p> <p>Chez l'homme, par voie orale : le principal organe cible le rein</p> <p>Chez l'animal, voie respiratoire : effets sur le système respiratoire, sur la thyroïde, sur les reins.</p> <p>Chez l'animal, voie orale : effets sur les reins, le foie, le cœur et les poumons.</p> <p>*Les composés du nickel sont classés cancérigène pour l'homme alors que le nickel métallique est probablement cancérigène pour l'homme. (CIRC 1990).</p> <p>*Seul le tétracarbonylnickel est classé reprotoxique pour l'homme.</p>	à seuil *ingestion 50µg/kg/day (RIVM, 2000) *inhalation: 9.10-5 mg/m3 (ATSDR, 2005)  sans seuil inhalation: 2,4.10-4 (µg/m3) -1 (US EPA, 1991)	INERIS, 2006 [52]

Agents	N°CAS	Propriété physico-chimiques	Voie d'exposition	Effets sur la santé	VTR	Source
Les métaux (suite)						
cadmium et composés	7440-43-9 10108-64-2 1306-19-0 10124-36-4 1306-23-6	solide cristallisé, très peu volatil, présent dans l'air adsorbé sur des poussières	inhalation et ingestion	*toxicité aigüe inhalation chez l'homme: pneumonie chimique et décès *toxicité aigüe ingestion chez l'homme: gastro-entérite avec crampes épigastriques, vomissements, diarrhées et myalgies *toxicité chronique chez l'homme: organe cible (rein et poumons par inhalation, rein par ingestion) *Substance devant être assimilée à une substance cancérigène pour l'homme (cat2, groupe 1 pour le CIRC) *Substance devant être assimilée à une substance mutagène pour l'homme *non reprotoxique chez l'homme, un possible effet sur le développement montré chez l'animal *non génotoxique	À seuil *ingestion : 0.0001mg/kg/day (ATSDR, 2008) *inhalation : 0.00001mg/m3 (ATSDR, 2008)  sans seuil inhalation : 1,8.10-3 (µg/m3)-1 (US EPA, 1999)	INERIS, 2005 [45]

## Annexe C: Tableau des données sanitaires relatives aux agents chimiques provenant de l'air extérieur

Agents	N°CAS	Propriété physico-chimiques	Voie d'exposition	Effets sur la santé	VTR	Source
CH4	537-46-2 57-09-0 74-82-8 82600-58-6					
CO2	124-38-9	gaz incolore, inodore, plus lourd que l'air	Inhalation	paresthésies, palpitations, sensation de fatigue intense et brutale, sensation de faiblesse, sensation de vertige, céphalées, troubles visuels, toux, irritation pharyngée, bouffées de chaleur, Confusion, dyspnée, sensation de brûlure thoracique Perte d'équilibre, irritation des yeux et du nez, nausées, sensation d'oppression thoracique Crampes aux membres inférieurs, douleurs thoraciques.	Fraction inspirée de CO2 > 7 % Effets secondaires peu spécifiques (*), ayant valeur d'alarme dans un contexte évocateur > 15 % Perte de connaissance sans prodromes > 20 % Clonies, apnée sans prodromes > 30-40 % Mortalité	INRS, 1999 [60]
CO	630-08-0	Gaz incolore, inodore et insipide	inhalation	<b>*intoxication aiguë:</b> 300 décès par an en France. Troubles neurologiques, cardiaques. <b>*intoxication chronique:</b> possible atteinte à long terme sur les systèmes neurologique et cardiovasculaire. Le plus souvent effets à long termes résultant d'une intoxication aiguë passée. *non classé cancérigène *non classé génotoxique *effet foetotoxique	23 mg.m-3 (1h) (OEHHA, EPA Californie- 2003)	AFSSET, 2007 [11]
H2S	7783-06-04	gaz incolore, odorant. Rapidement oxydé en présence d'oxygène. Présent dans l'air, l'eau et les sols.	inhalation	*aiguë: mortelle à forte dose (anoxie des cellules). Irritation des yeux, de la gorge, puis des muqueuses oculaires et nasales, puis respiratoires. Effets sur le système respiratoire, sur le système cardio-vasculaire et sur le système nerveux. *chroniques: sensation de malaise (céphalée, asthénie, troubles de la mémoire, nausées, anorexie,...), effet sur le système respiratoire et sur le système nerveux. *non classé génotoxique * non classé cancérigène * non classé reprotoxique		INERIS, 2009 [53]

Agents	N°CAS	Propriété physico-chimiques	Voie d'exposition	Effets sur la santé	VTR	Source
NOx	10102-43-9 (NO) 10102-44-0 (NO2) 10544-72-6 (N2O4)	NO gaz NO2 et N2O4 liquide à 20°C et gaz à 21,15°C instable aussi bien dans l'eau et les sols (formation d'acide nitrique) réagit dans l'air en présence de lumière pour former de l'ozone (demi-vie 35h)	inhalation	*irritants des muqueuses respiratoires *intoxication aiguë: irritation des muqueuses oculaires et respiratoire avec toux, larmolement, dyspnée, nausée; période de rémission; puis développement d'une œdème pulmonaire associé à une détresse respiratoire, toux, dyspnée et fièvre, pouvant être fatal. *exposition chronique: les sujets exposés seraient plus sensibles aux infections pulmonaires qui seraient également plus graves et plus longues. (effets sur le système immunitaire et le système pulmonaire, foie et sang) *non classé cancérigène *non classé génotoxique *non classé reprotoxique	REL = 0,25 ppm (0,47 mg/m3) (OEHHA, 1999)	INERIS, 2005 [47]
O3	10028-15-6	gaz instable qui se décompose rapidement en O2 (fonction de l'humidité, de la température et de la présence de catalyseur ou d'une surface solide) en milieu intérieur réaction avec les oléfines des matériaux pour former des aldéhydes en particulier le formaldéhyde.	inhalation	*effets sur les poumons, le système nerveux central et le sang *intoxication aiguë: toux, inconfort thoracique, parfois irritation de la gorge, irritation nasale et essoufflement. Diminution de la capacité ventilatoire, inflammation des voies aériennes supérieures et inférieures. *exposition chronique: diminution de la fonction pulmonaire et induction de nouveaux cas d'asthme. *non classé cancérigène *non classé génotoxique *non classé reprotoxique	REL= 0,18 mg/m3 (0,09 ppm) (1 h d'exposition) (OEHHA, 1999)	INERIS, 2005 [48]
SO2	7446-09-5	gaz soluble dans l'eau, plus ou moins adsorbés dans les sols (selon pH et composition du milieu), dans l'air il est présent sous forme gazeuse et se transforme en SO3 par réaction chimiques ou photochimiques (demi-vie entre 3 et 5 heures).	inhalation	*toxicité due au gaz lui-même ou à ses produits de dégradation (sulfure, bisulfure, hydrogène) *effets sur les poumons et le sang *toxicité aiguë: irritation, altération des sens gustatifs et olfactifs, diminution du volume respiratoire et augmentation de sa fréquence. *toxicité chronique: augmentation des symptômes respiratoires et peu ou pas de diminution de la fonction respiratoire. * non classé cancérigène *non classé génotoxique *non reprotoxique	REL =660 µg/m3 (0,25 ppm) (OEHHA, 1999)	INERIS, 2005 [43]

## Annexe D: Tableau des données sanitaires relatives aux agents chimiques émis par les matériaux

Agents	N°CAS	Propriété physico-chimiques	Voie d'exposition	Effets sur la santé	VTR	Source
PVC (9002-86-2)						
chlorure de vinyle	75-01-4	gaz photo-oxydation (en formaldéhyde, CO <sub>2</sub> , acide formique et acide chlorhydrique)	orale et respiratoire	*toxicité aiguë chez l'Homme par inhalation: dépression du système nerveux central (vertiges, somnolence, céphalées, désorientation, effets narcotique) et irritation des muqueuses (parfois brûlure de la peau et atteintes cornéennes) *toxicité chronique: effets sur les os, le système vasculaire, troubles hépato-digestifs, le système immunitaire (maladie du chlorure de vinyle) *cancérigène (foie) *effet mutagène *non reprotoxique	à seuil: *ingestion : 0.003 mg/kg/day (ATSDR, 2006) *inhalation : 0.03 ppm (ATSDR, 2006)  sans seuil: *ingestion : 0.27 (mg/kg-day)-1 (OEHHA, 2003) *inhalation : 0.000078 (ug/cubic meter)-1 (OEHHA, 2003)	INERIS, 2006 [51]
DEHP	117-81-7	liquide huileux, très peu volatil, non soluble dans l'eau	voie orale et inhalation, après hydrolyse en MEHP	*toxicité aiguë faible, sensibilisant des voies respiratoires, perturbateur endocrinien suspecté *toxicité chroniques: organes cibles (foie, reins, testicules), peu probable chez l'Homme *non génotoxique *non cancérigène chez l'Homme *substance devant être assimilée à une substance causant des effets toxiques sur la fertilité et le développement dans l'espèce humaine (cat2)		INRS, 2004 [73]
DINP	68515-48-0 28553-12-0	liquide huileux, très peu volatile, non soluble dans l'eau	voie orale et inhalation sous forme d'aérosol	*toxicité aiguë faible *toxicité chronique: organe cible par ingestion (le foie et les reins, mais seulement chez les rongeurs) *non génotoxique *non cancérigène *non reprotoxique		INRS, 2003 [67]
DIDP	68515-49-1 26761-40-0	liquide huileux, très peu volatile, non soluble dans l'eau	voie orale et inhalation sous forme d'aérosol	*toxicité aiguë faible *toxicité chronique: organe cible par ingestion (le foie) *non génotoxique *non cancérigène *non reprotoxique		INRS, 2003 [66]

Agents	N°CAS	Propriété physico-chimiques	Voie d'exposition	Effets sur la santé	VTR	Source
PVC (suite)						
cadmium et composés	7440-43-9 10108-64-2 1306-19-0 10124-36-4 1306-23-6	Voir Annexe B rubrique métaux				
plomb (carbonate basique de plomb)	7439-92-1 301-04-2 598-63-0 <b>1319-46-6</b> 1317-36-8 1309-60-0 1314-41-6 1314-87-0 7446-14-2	Voir Annexe B rubrique métaux				
zinc (distéarate de zinc)	7440-66-6 7646-85-7 <b>557-05-1</b> 1314-13-2 7779-90-0 7733-02-0	Voir Annexe B rubrique métaux				
Autres matériaux						
PE	9002-88-4					
PP	9003-07-0					
grès vitrifié						
acier galvanisé						
acier inoxydable						
Ciment chrome				allergie au chrome		DEOUX et DEOUX, 1997 [32]

## Annexe E : Tableaux des données sanitaires sur les agents d'origine biologique

Agent		Effets sanitaires	Dose infectieuse	Conditions de développement	Source
Les moisissures					
<i>Penicillium</i>		spores			CSHP, 2006 [30]
<i>Aspergillus fumigatus</i>		spores	effet infectieux aspergillose invasive: envahissement pulmonaire puis généralisé chez les personnes immunodéprimées		BAOBAB CSHP, 2006 [30]
			effet infectieux aspergillome développé dans une cavité pulmonaire préformée (kyste, caverne tuberculeuse guérie) ou dans un sinus		BAOBAB CSHP, 2006 [30]
			effet allergisant asthme aspergillaire		BAOBAB CSHP, 2006 [30]
	métabolite toxique: Gliotoxine	molécules peu volatiles adsorbées sur les poussières ou les spores	effet toxique		CSHP, 2006 [30]
<i>Aspergillus versicolor</i>	métabolite toxique: Stérigmatocystine, Géosmine	molécules peu volatiles adsorbées sur les poussières ou les spores	effet allergisant, toxique		CSHP, 2006 [30]
<i>Aspergillus flavus</i>	métabolite toxique: Aflatoxines	molécules peu volatiles adsorbées sur les poussières ou les spores	effets infectieux, allergisant et toxique effets hépatotoxiques, neurotoxiques, mutagènes, tératogènes et cancérigènes chez l'animal par voie digestive et par voie respiratoire. Lien établi chez l'homme entre l'ingestion d'aflatoxine et le cancer du foie.		CSHP, 2006 [30]
<i>Aspergillus niger</i>		spores	allergies respiratoires		CSHP, 2006 [30]
<i>Botrytis cinerea</i>		spores	allergies chez les travailleurs (vignes ou serres)		CSHP, 2006 [30]
<i>Fusarium solani</i>		spores	allergies respiratoires rares kératites		CSHP, 2006 [30]
<i>Mucor circinelloides</i>		spores	effets toxique, allergisant et infectieux implications dans des pathologies		CSHP, 2006 [30]
<i>Mucor racemosus</i>		spores			
<i>Alternaria alternata</i>		spores	aéroallergène reconnu		CSHP, 2006 [30]
<i>Cladosporium bantianum</i>		spores	atteinte du système nerveux central, atteinte cutanée		BAOBAB CSHP, 2006 [30]
<i>Cladosporium cladosporioides</i>		spores	faiblement allergisant		CSHP, 2006 [30]

Agent		Effets sanitaires	Dose infectieuse	Conditions de développement	Source
Les moisissures (suite)					
<i>Aureobassidium pollulans</i>		spores	allergène respiratoire infection liées à des blessures		CSHP, 2006 [30]
<i>Paecydomyces</i>		spores			
<i>Rhizopus microsporus</i>		spores	effets toxique, allergisant et infectieux implications dans des pathologies		CSHP, 2006 [30]
<i>Trichoderma harzianum</i>	métabolite toxique: Gliotoxine	spores molécules peu volatiles adsorbées sur les poussières ou les spores	effet allergisant et toxique		CSHP, 2006 [30]
<i>Tamnidium</i>		spores			CSHP, 2006 [30]
spores	glucanes	molécules composant la paroi cellulaire donc dans les spores et les débris	symptômes respiratoires. Ils sont impliqués dans des processus inflammatoires et stimuleraient la fonction des macrophages et des neutrophiles.		CSHP, 2006 [30]
MCOV ou COVm		molécules volatiles	odeurs		CSHP, 2006 [30]
		molécules volatiles	irritation des yeux, du nez et de la gorge (contact direct avec les muqueuses?) effet de synergie avec d'autres COV participerait au syndrome des bâtiments malsains		CSHP, 2006 [30]
mycotoxines		molécules volatiles	effet cytotoxique (blocage de la production de surfactant, destruction des macrophage au niveau pulmonaires, endommagement de l'intégrité des cellules de l'épithélium pulmonaire...) exacerbation de l'asthme et des infection fongiques, infection secondaires... effets systémiques plus généraux (effets sur la tension artérielle et le rythme cardiaque)		
mélange de mycotoxines, glucanes, antigènes, endotoxines		molécules volatiles, spores et molécules peu volatiles adsorbées sur les poussières ou les spores	Organic Dust Toxic Syndrome (ODTS) syndrome inflammatoire aigu des voies respiratoires et des alvéoles		CSHP, 2006 [30]

Agent		Effets sanitaires	Dose infectieuse	Conditions de développement	Source
<b>Les bactéries</b>					
<i>Staphylococcus aureus</i>		infections superficielles: impétigo, folliculite, abcès, furoncle, lacérations infectées infections profondes: endocardites, méningite, arthrite septique, pneumonie, ostéomyélite infections générales: fièvres, céphalées, sensation de malaise, myalgies	la virulence des souches varie énormément		Santé canada, 2001 [125]
toxines de <i>Staphylococcus aureus</i>	entérotoxines staphylococciques A				
	entérotoxines staphylococciques E				
	toxine du choc toxique staphylococcique (TSST-1)	syndrome du choc toxique: affection polyviscérale (survenue brutale de forte fièvre, de vomissement, d'une diarrhée aqueuse profuse, de myalgies, d'une hypotension et d'un érythème.			
	toxine exfoliative A	syndrome de Ritter ou dermatite exfoliative (chez les nourrissons)			
	toxine exfoliative B				
<i>Legionella pneumophila</i>		pneumonie aiguë accompagnée d'anorexie, d'une sensation de malaise, de myalgie, de maux de tête, de fièvre et de frissons, d'une toux improductive, de douleurs abdominales et de diarrhée Fièvre de Pontiac	inconnue		Santé canada, 2001 [123]
<i>Bacillus anthracis</i>		forme externe: lésions cutanées se transformant en vésicule puis en escarres enfoncées charbon intestinal: détresse abdominale, fièvre, septicémie, parfois mort forme oropharyngée	8 000 à 50 000 organismes par inhalation		Santé canada, 2001 [124]
spores de <i>Bacillus anthracis</i>		charbon pulmonaire: détresse respiratoire, fièvre, état de choc et mort peu de temps après			

Agent		Effets sanitaires	Dose infectieuse	Conditions de développement	Source
<b>Les bactéries (suite)</b>					
<i>Micrococcus</i>			pathogénicité incertaine car bactérie jamais seule participe à des infections telles que l'endocardite ou des infections cutanées chez les sujets immunodéprimés	inconnue	Santé canada, 2001 [127]
<i>Streptococcus pneumoniae</i>			pneumonie, bactériémie, otite moyenne, méningite, sinusite, péritonite, arthrite (début brutale accompagné d'un frisson, de douleur pleurale, de dyspnée, de toux, de crachat couleur rouille, de leucocytose) taux de létalité de 5 à 10% en cas de traitement, de 20 à 40% si les sujets sont touchés par une affections sous-jacentes	inconnue	Santé canada, 2001 [128]
<i>Streptococcus pyogenes</i>			pharyngite streptococcique (fièvre, amygdalite accompagnée d'exsudat, pharyngite) infections cutanées streptococciques (impétigo ou pyodermite - habituellement superficiels) scarlatine (éruption cutanée, fièvre, nausée, taux de létalité de 3 %), fièvre puerpérale (envahissement bactérien des voies génitales), érysipèle (fièvre, leucocytose, placards rouges), septicémie, cellulite péri anale, mastoïdite, otite moyenne, pneumonie, péritonite et infection des plaies fièvre rhumatismale aiguë syndrome analogue au choc toxique (hypotension, insuffisance rénale, thrombopénie, coagulation intra vasculaire disséminée, élévation de la bilirubinémie, syndrome de détresse respiratoire de l'adulte, fasciite nécrosante)	inconnue	Santé canada, 2001 [129]
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>			infection naso pharyngée: pharyngite, fièvre, sensation de malaise, tuméfaction du cou, céphalée infection cutanée		Santé canada, 2001 [126]
toxine de <i>Corynebacterium diphtheriae</i>			paralysie des nerfs crâniens, moteurs et sensitifs, myocardite et endocardite	très faible	
<b>Les levures</b>					
<i>Candida albicans</i>					

Agent		Effets sanitaires	Dose infectieuse	Conditions de développement	Source
Les pollens					
pollen		<p><b>Pollinose</b></p> <p><i>_La rhinite allergique saisonnière : nez bouché, éternuements, nez qui coule et démangeaisons.</i></p> <p><i>_La conjonctivite allergique saisonnière : yeux rouges qui piquent, avec sensation de sable dans les yeux.</i></p> <p><i>_Les petits pollens, qui peuvent pénétrer jusque dans les bronches, peuvent provoquer des crises d'asthmes : diminution du souffle, sifflements bronchiques, toux persistante souvent nocturne.</i></p> <p><i>_Oedèmes et urticaire sont plus rares.</i></p>			Réseau national de surveillance aérobiologique, 2009 [120]
Érable	pollen	Faible		Mars à mai	
Aulne	pollen	Moyen		Février	
Bouleau	pollen	Fort		Avril	
Mûrier à Papier	pollen	Faible		Mai/juin	
Châtaignier	pollen	Faible		Juin	
Charme	pollen	Moyen		Mars/avril	
Noisetier	pollen	Fort		Février/mars	
Cyprès	pollen	Fort		Janvier/février ou mars/avril	
Hêtre	pollen	Faible		Avril/mai	
Fresnes	pollen	Moyen		Avril/mai	
Noyers	pollen	Faible		Mai/juin	
Genévriers	pollen	Faible à fort			
Troènes	pollen	Moyen		Juin/juillet	
Olivier	pollen	Moyen		Mai/juin	
Charme Houblon	pollen	Faible		Mar/avril	
Peuplier	pollen	Faible		Avril	
Platane	pollen	Fort		Avril/mai	
Chêne	pollen	Fort		Avril à juin	
Saule	pollen	Faible		Avril/mai	
Thuya	pollen	Faible		Avril/mai	
Tilleul	pollen	Faible		Juin/juillet	
Ormes	pollen	Faible		mars	
graminées sauvages	pollen	fort		2 fois par an	
graminées cultivées	pollen	plutôt fort mais peu mobile		été	
graminées ornementales	pollen	plutôt fort		été	
ambrosie annuelle	pollen	fort	5 grains/m3	mi-août à octobre avec pic en septembre	
ambrosie commune	pollen	fort	5 grains/m3	mi-août à octobre avec pic en septembre	

Agent		Effets sanitaires	Dose infectieuse	Conditions de développement	Source
Les pollens (suite)					
chénopode blanc	pollen	moyen			Réseau national de surveillance aérobiologique, 2009 [120]
oseille sauvage	pollen	fort			
pariétaire diffuse	pollen	fort			
plantain lancéolé	pollen	moyen			
ricin	pollen	moyen			

## Annexe F : Facteurs de dégradation de la QAI identifiés par les arbres des causes

Facteurs	Phase ou nature
absence d'aillettes	conception
activité ou infrastructure polluantes en amont du site	conception
aillettes inefficaces	conception
choix du filtre	conception
choix ventilateur	conception
débit d'air	conception
distance par rapport sources de pollution	conception
emplacement de la prise d'air	conception
étude géothermique	conception
hauteur de la prise d'air	conception
hydrologie	conception
mauvais choix de la prise d'air	conception
mauvais choix des regards	conception
mauvais choix des tubes et des raccords	conception
mauvais choix du design	conception
mauvais choix du matériau	conception
mauvais choix du matériau du filtre	conception
mauvais choix du système d'évacuation des condensats	conception
mauvais dimensionnement de la pompe	conception
mauvais dimensionnement du puits	conception
mauvais dimensionnement du siphon	conception
mauvaise étude environnementale (géotechnique)	conception
mauvaise étude environnementale (identification des obstacles)	conception
mauvaise étude environnementale (vents et des sources de poussière)	conception
mauvaise étude environnementale (vents et sources de particules)	conception
mauvaise orientation des ailettes	conception
nature des roches	conception
nature du sol	conception
perforation par animaux	conception
présence d'une nappe libre	conception
profondeur insuffisante	conception
ventilation en sortie de puits	conception
vitesse comprise entre 1 et 3 m/s	conception
vitesse du ventilateur	conception
absence de filtre	entretien/utilisation
by-pass enclenché	entretien/utilisation
défaut de filtration	entretien/utilisation
détérioration du filtre	entretien/utilisation
durée d'utilisation	entretien/utilisation
mauvais entretien	entretien/utilisation
mauvais entretien de la grille	entretien/utilisation
mauvais entretien du filtre	entretien/utilisation
mauvais entretien du puits	entretien/utilisation
mauvaise gestion de l'environnement proche du puits	entretien/utilisation
mauvaise stabilisation des sols (compactage)	entretien/utilisation
panne de la pompe	entretien/utilisation
panne du ventilateur (non spécifique au puits canadien)	entretien/utilisation
utilisation du puits	entretien/utilisation

<b>Facteurs</b>	<b>Phase</b>
absence de protection durant transport, stockage et chantier	mise en œuvre
chocs du matériel	mise en œuvre
chutes du matériel	mise en œuvre
défaut dans l'installation de la prise d'air	mise en œuvre
défaut de réalisation de la pente	mise en œuvre
défaut de réalisation du massif de gravier	mise en œuvre
mauvais choix du lieu de stockage	mise en œuvre
mauvais choix du moyen de transport	mise en œuvre
mauvais contrôle de l'état des tubes	mise en œuvre
mauvais déblaiement	mise en œuvre
mauvaise installation du siphon	mise en œuvre
mauvaise mise en œuvre (étanchéité des raccords)	mise en œuvre
mauvaise réalisation des joints et des raccords	mise en œuvre
mise en œuvre (pose de l'échangeur)	mise en œuvre
salissures lors de la mise en œuvre	mise en œuvre
activités biologiques	agents
espèce de moisissures	agents
espèce de bactéries	agents
compétition microbiologique	agents
propriétés physico-chimiques de l'agent (volatilité, densité...)	agents
air extérieur chaud	environnement
conditions climatiques (température, humidité...)	environnement
dégradation du matériau	environnement
forte humidité relative de l'air	environnement
humidité favorable au microorganismes	environnement
nature des particules	environnement
pH de l'air	environnement
précipitations	environnement
présence de nutriments pour les microorganismes	environnement
présence d'eau dans le sol	environnement
température du sol adéquate	environnement
température du sol pas assez basse	environnement
température du sol trop basse	environnement
température élevée de l'air	environnement
température extérieur très chaude	environnement
température extérieure ni trop basse ni trop élevée	environnement
température extérieure très froide	environnement
température favorable pour les microorganismes	environnement
température froide des surfaces des conduits	environnement
vent	environnement

## Annexe G : Notation des dégradations et des agents physiques

Dégradation due à	Plausibilité	Fréquence	Durée d'exposition	Indice d'exposition	Nombre de critères d'exposition	Existence d'une Valeur sanitaire	Gravité des effets sur la santé	Gravité des effets sur le confort	Indice sanitaire	Nombre de critères sanitaires	Total	Nombre de critères
déficit en O2	10	10	10	30	3	1	100	1	102	3	132	6
CO2 excessive	10	10	10	30	3	1	100	1	102	3	132	6
humidité trop forte	100	100	1000	1200	3	1	10	10	21	3	1221	6
humidité trop faible	10	1	100	111	3	1	100	10	111	3	222	6
température trop élevée	10	1	100	111	3	1	10	10	21	3	132	6
température trop faible	10	1	100	111	3	1	10	10	21	3	132	6
écart entre les température intérieures et extérieures	10	1	100	111	3	1	10	10	21	3	132	6
PM2.5	1	100	1000	1101	3	1	1000	1	1002	3	2103	6
PM10	1	100	1000	1101	3	1	1000	1	1002	3	2103	6
radon	100	10	1000	1110	3	1	1000	1	1002	3	2112	6
fibres minérales artificielles	10	10	10	30	3	1	100	1	102	3	132	6
amiante naturelle	100	1	1000	1101	3	1000	1000	1	2001	3	3102	6
ions négatifs	0	0	0	0	0	0	10	0	10	1	10	1
ions positifs	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## Annexe H : Notation des agents chimiques

Source	dégradation due à	n°CAS	Plausibilité	Fréquence	Durée d'exposition	Indice d'exposition	Nombre de critères d'exposition	Existence d'une valeur sanitaire	Gravité des effets sur la santé	Gravité des effets sur le confort	Indice sanitaire	Nombre de critères sanitaires	Total	Nombre de critères
air extérieur	CH4	537-46-2 57-09-0 74-82-8 82600-58-6	1	100	0	101	2	0	0	1	1	1	102	3
air extérieur	CO2	124-38-9	1	100	1000	1101	3	1	10	1	12	3	1113	6
air extérieur	H2S	7783-06-04	1	100	0	101	2	0	0	100	100	1	201	3
air extérieur	NOx	10102-43-9 (NO) 10102-44-0 (NO2) 10544-72-6 (N2O4)	1	10	1000	1011	3	100	10	1	111	3	1122	6
air extérieur	O3	10028-15-6	1	10	0	11	2	100	100	1	201	3	212	5
air extérieur	SO2	7446-09-5	1	10	0	11	2	100	10	1	111	3	122	5
air extérieur	CO	630-08-0	1	10	1000	1011	3	100	10	1	111	3	1122	6
matériau	chlrorure de vinyle	75-01-4	100	10	1000	1110	3	100	1000	10	1110	3	2220	6
matériau	cadmium et composés	7440-43-9 10108-64-2 1306-19-0 10124-36-4 1306-23-6	100	10	1000	1110	3	100	1000	1	1101	3	2211	6
matériau	plomb (carbonate basique de plomb)	7439-92-1 301-04-2 598-63-0 <b>1319-46-6</b> 1317-36-8 1309-60-0 1314-41-6 1314-87-0 7446-14-2	100	10	1000	1110	3	100	1000	1	1101	3	2211	6

Source	dégradation due à	n°CAS	Plausibilité	Fréquence	Durée d'exposition	Indice d'exposition	Nombre de critères d'exposition	Existence d'une valeur sanitaire	Gravité des effets sur la santé	Gravité des effets sur le confort	Indice sanitaire	Nombre de critères sanitaires	Total	Nombre de critères
air extérieur	CH4	537-46-2 57-09-0 74-82-8 82600-58-6	1	100	0	101	2	0	0	1	1	1	102	3
matériau	zinc (distérate de zinc)	7440-66-6 7646-85-7 557-05-1 1314-13-2 7779-90-0 7733-02-0	100	10	1000	1110	3	100	100	1	201	3	1311	6
matériau	DEHP	117-81-7	100	10	1000	1110	3	1	100	100	201	3	1311	6
matériau	DINP	68515-48-0 28553-12-0	100	10	1000	1110	3	1	100	100	201	3	1311	6
matériau	DIDP	68515-49-1 26761-40-0	100	10	1000	1110	3	1	100	100	201	3	1311	6
matériau	PE	9002-88-4	100	10	1000	1110	3	0	0	1	1	1	1111	4
matériau	PP	9003-07-0	100	10	1000	1110	3	0	0	1	1	1	1111	4
matériau	TPC		100	10	1000	1110	3	0	0	0	0	0	1110	3
matériau	grès vitrifié		100	1	1000	1101	3	0	0	1	1	1	1102	4
matériau	acier galvanisé		100	1	1000	1101	3	0	0	1	1	1	1102	4
matériau	acier inoxydable		100	1	1000	1101	3	0	0	1	1	1	1102	4
matériau	béton		100	10	1000	1110	3	1	1000	1	1002	3	2112	6
matériau	ciment		100	10	1000	1110	3	1	10	1	12	3	1122	6
matériau	pierre		100	1	1000	1101	3	1	1000	1	1002	3	2103	6
matériau	terre cuite		100	1	1000	1101	3	1	1000	1	1002	3	2103	6
sol	méthanol	67-56-1	100	100	10	210	3	100	10	10	120	3	330	6
sol	éthanol	64-17-5	100	100	10	210	3	1	10	10	21	3	231	6
sol	isopropanol	67-63-0	100	100	10	210	3	1	10	10	21	3	231	6
sol	alcool furfurylique	98-00-0	100	100	10	210	3	100	10	10	120	3	330	6
sol	alcool isoamylique	123-51-3	100	100	10	210	3	1	10	10	21	3	231	6
sol	1,2-Ethanediol	107-21-1	100	100	10	210	3	100	10	10	120	3	330	6
sol	1,2-Propanediol	57-55-6	100	100	10	210	3	100	10	10	120	3	330	6

Source	dégradation due à	n°CAS	Plausibilité	Fréquence	Durée d'exposition	Indice d'exposition	Nombre de critères d'exposition	Existence d'une valeur sanitaire	Gravité des effets sur la santé	Gravité des effets sur le confort	Indice sanitaire	Nombre de critères sanitaires	Total	Nombre de critères
sol	acétone	67-64-1	100	100	10	210	3	100	10	10	120	3	330	6
sol	méthyléthylacétone	78-93-3	100	100	10	210	3	100	10	10	120	3	330	6
sol	méthylisobutylcétone	108-10-1	100	100	10	210	3	100	10	10	120	3	330	6
sol	méthylbutylcétone	591-78-6	100	100	10	210	3	1	10	10	21	3	231	6
sol	phénylméthylcétone	98-86-2	100	100	10	210	3	100	10	10	120	3	330	6
sol	cyclohexanone	108-94-1	100	100	10	210	3	100	10	10	120	33	330	36
sol	isophorone	78-59-1	100	100	10	210	3	100	10	10	120	3	330	6
sol	N-méthylpyrrolidone	872-50-4	100	100	10	210	3	1	10	10	21	3	231	6
sol	formaldéhyde	50-00-0	100	100	10	210	3	100	1000	100	1200	3	1410	6
sol	acétaldéhyde	75-07-0	100	100	10	210	3	100	100	10	210	3	420	6
sol	benzaldéhyde	100-52-7	100	100	10	210	3	100	100	10	210	3	420	6
sol	butyraldéhyde	123-72-8	100	100	10	210	3	0	0	0	0	0	210	3
sol	crotonaldéhyde	4170-30-3	100	100	10	210	3	0	0	0	0	0	210	3
sol	furfuraldéhyde	98-01-1	100	100	10	210	3	100	100	10	210	3	420	6
sol	glutaraldéhyde	111-30-8	100	100	10	210	3	100	10	10	120	3	330	6
sol	hexaldéhyde	66-25-1	100	100	10	210	3	0	10	0	10	2	220	5
sol	propionaldéhyde	123-38-6	100	100	10	210	3	100	0	10	110	2	320	5
sol	valéraldéhyde	110-62-3	100	100	10	210	3	1	0	0	1	1	211	4
sol	acroléine	107-02-8	100	100	10	210	3	100	1000	10	1110	3	1320	6
sol	cyclohexane	110-82-7	100	100	10	210	3	100	10	10	120	3	330	6
sol	benzène	71-43-2	100	100	10	210	3	100	1000	10	1110	3	1320	6
sol	acrylonitrile	107-13-1	100	0	10	110	2	100	1000	10	1110	3	1220	5
sol	n-butanol	71-36-3	100	0	10	110	2	1	10	10	21	3	131	5
sol	sulfure de carbone	75-15-0	100	0	10	110	2	100	10	10	120	3	230	5

Source	dégradation due à	n°CAS	Plausibilité	Fréquence	Durée d'exposition	Indice d'exposition	Nombre de critères d'exposition	Existence d'une valeur sanitaire	Gravité des effets sur la santé	Gravité des effets sur le confort	Indice sanitaire	Nombre de critères sanitaires	Total	Nombre de critères
sol	acétate d'éthyle	141-78-6	100	0	10	110	2	1	10	10	21	3	131	5
sol	éther éthylique	60-29-7	100	0	10	110	2	1	10	10	21	3	131	5
sol	isobutanol	78-83-1	100	0	10	110	2	1	10	10	21	3	131	5
sol	méthyl éthyl cétone	78-93-3	100	100	10	210	3	1	10	10	21	3	231	6
sol	méthyl isobutyl cétone	108-10-1	100	100	10	210	3	100	1	10	111	3	321	6
sol	styrène	100-42-5 9003-56-9	100	100	10	210	3	100	1000	10	1110	3	1320	6
sol	trétradrofurane		100	0	0	100	1	0	0	0	0	0	100	1
sol	acétate de vinyle	108-05-4	100	0	0	100	1	0	0	0	0	0	100	1
sol	toluène	108-88-3	100	100	10	210	3	100	10	10	120	3	330	6
sol	ethylbenzène	100-41-4	100	100	10	210	3	1	10	10	21	3	231	6
sol	xylène	1330-20-7 8026-09-3	100	100	10	210	3	1	100	10	111	3	321	6
sol	tétrachlorure de carbone	56-23-5	100	100	10	210	3	100	1000	10	1110	3	1320	6
sol	trichloroéthylène	79-01-6	100	100	10	210	3	100	10	10	120	3	330	6
sol	1,1,1-trichloroéthane	71-55-6	100	100	10	210	3	1	10	10	21	3	231	6
sol	naphtalène	91-20-3	100	100	10	210	3	100	1000	10	1110	3	1320	6
sol	indène	95-13-6	100	100	10	210	3	1	10	0	11	2	221	5
sol	dichlorobenzène	106-46-7	10	100	10	120	3	100	1000	10	1110	3	1230	6
sol	benzo(a)pyrène	50-32-8	10	100	10	120	3	100	1000	1	1101	3	1221	6
sol	fluoranthène	206-44-0	10	100	10	120	3	100	0	0	100	1	220	4
sol	phénantrène	85-01-8	10	100	10	120	3	100	0	0	100	1	220	4

Source	dégradation due à	n°CAS	Plausibilité	Fréquence	Durée d'exposition	Indice d'exposition	Nombre de critères d'exposition	Existence d'une valeur sanitaire	Gravité des effets sur la santé	Gravité des effets sur le confort	Indice sanitaire	Nombre de critères sanitaires	Total	Nombre de critères
sol	anthracène	120-12-7 58917-67-2	10	100	10	120	3	100	0	0	100	1	220	4
sol	benzothiophène	11095-43-5	10	100	10	120	3	0	0	0	0	0	120	3
sol	acridine	140460-96-4 140460-97-5 140460-98-6 140461-57-0 260-94-6	10	100	10	120	3	1	10	0	11	2	131	5
sol	phénols	108-95-2	10	100	10	120	3	100	1000	0	1100	2	1220	5
sol	PCB	11097-69-1 1336-36-3 608-93-5	10	100	10	120	3	100	1000	0	1100	2	1220	5
sol	dioxines et furannes	110-00-9	10	100	10	120	3	1	100	0	101	2	221	5
sol	CH4	537-46-2 57-09-0 74-82-8 82600-58-6	100	100	0	200	2	0	0	0	0	3	200	5
sol	CO2	124-38-9	100	100	1000	1200	3	1	10	1	12	3	1212	6
sol	H2S	7783-06-04	100	100	0	200	2	1	1000	100	1101	3	1301	5
sol	plomb	7439-92-1 301-04-2 598-63-0 1319-46-6 1317-36-8 1309-60-0 1314-41-6 1314-87-0 7446-14-2	100	100	1000	1200	3	100	1000	1	1101	3	2301	6

## Annexe I : Notation des dégradations et des agents d'origine biologique

dégradation due à	Plausibilité	Fréquence	Durée d'exposition	Indice d'exposition	Nombre de critères d'exposition	Existence d'une valeur sanitaire	Gravité des effets sur la santé	Gravité des effets sur le confort	Indice sanitaire	Nombre de critères sanitaires	Total	Nombre de critères
Pénicillium	100	10	100	210	3	0	10	10	20	2	230	5
Aspergillus fumigatus	100	10	100	210	3	0	10	10	20	2	230	5
Aspergillus fumigatus métabolite toxique: Gliotoxine	100	10	100	210	3	0	10	10	20	2	230	5
Aspergillus versicolor métabolite toxique: Stérigmatocystine,	100	10	100	210	3	0	10	10	20	2	230	5
Aspergillus versicolor métabolite toxique: Géosmine	100	10	100	210	3	0	10	10	20	2	230	5
Aspergillus flavus métabolite toxique: Aflatoxines	100	10	100	210	3	0	10	10	20	2	230	5
Aspergillus niger spore	100	10	1000	1110	3	0	1000	10	1010	2	2120	5
Botrytis cinerea spores	100	1	1000	1101	3	0	10	10	20	2	1121	5

dégradation due à	Plausibilité	Fréquence	Durée d'exposition	Indice d'exposition	Nombre de critères d'exposition	Existence d'une valeur sanitaire	Gravité des effets sur la santé	Gravité des effets sur le confort	Indice sanitaire	Nombre de critères sanitaires	Total	Nombre de critères
Fusarium solani spores	100	1	1000	1101	3	0	10	10	20	2	1121	5
Mucor circinelloides spores	100	1	1000	1101	3	0	10	10	20	2	1121	5
Mucor racemosus spores	100	1	1000	1101	3	0	0	10	10	1	1111	5
Alternaria alternata spores	100	1	1000	1101	3	0	10	10	20	2	1121	5
Cladosporium bantianum spores	100	100	1000	1200	3	0	10	10	20	2	1220	5
Cladosporium cladosporioides spores	100	100	1000	1200	3	0	10	10	20	2	1220	5
Aureobassidium pollulans spores	100	1	1000	1101	3	0	10	10	20	2	1121	5
Rhizopus microsporus spores	100	1	1000	1101	3	0	10	10	20	2	1121	5
Trichoderma harzianum métabolite toxique: Gliotoxines	100	1	100	201	3	0	10	10	20	2	221	5
Trichoderma harzianum spores	100	1	1000	1101	3	0	10	10	20	2	1121	5

dégradation due à	Plausibilité	Fréquence	Durée d'exposition	Indice d'exposition	Nombre de critères d'exposition	Existence d'une valeur sanitaire	Gravité des effets sur la santé	Gravité des effets sur le confort	Indice sanitaire	Nombre de critères sanitaires	Total	Nombre de critères
Tamnidium spores	100	1	1000	1101	3	0	0	10	10	1	1111	5
spores	100	100	1000	1200	3	0	10	10	20	2	1220	5
MCOV ou COVm	100	10	100	210	3	0	10	10	20	2	230	5
mélange de mycotoxines, glucanes, antigènes, endotoxines	100	100	100	300	3	0	10	10	20	2	320	5
Paecydomyces	100	1	100	201	3	0	0	10	10	1	211	4
mycotoxines	100	0	100	200	3	0	10	10	20	2	220	4
candida albicans	10	0	100	110	2	0	10	1	11	2	121	4
Staphylococcus aureus	10	0	100	110	2	0	100	1	101	2	211	4
toxines de Staphylococcus aureus toxine du choc toxique staphylococcique (TSST-1)	1	0	100	101	2	0	100	1	101	2	202	4
toxines de Staphylococcus aureus toxine exfoliative A	1	0	100	101	2	0	1	1	2	2	103	4

dégradation due à	Plausibilité	Fréquence	Durée d'exposition	Indice d'exposition	Nombre de critères d'exposition	Existence d'une valeur sanitaire	Gravité des effets sur la santé	Gravité des effets sur le confort	Indice sanitaire	Nombre de critères sanitaires	Total	Nombre de critères
toxines de Staphylococcus aureus entérotoxines staphylococciques A	1	0	100	101	2	0	0	1	1	1	102	3
toxines de Staphylococcus aureus entérotoxines staphylococciques E	1	0	100	101	2	0	0	1	1	1	102	3
toxines de Staphylococcus aureus toxine exfoliative B	1	0	100	101	2	0	0	1	1	1	102	3
Legionella pneumophila	10	0	100	110	2	0	1000	1	1001	2	1111	4
Bacillus anthracis	10	0	100	110	2	100	100	1	201	3	311	4
spores de Bacillus anthracis	1	0	1000	1001	2	0	1000	1	1001	2	2002	4
Micrococcus	10	0	100	110	2	0	1	1	2	2	112	4
Streptococcus pneumoniae	10	0	100	110	2	0	1000	1	1001	2	1111	4
Streptococcus pyogenes	10	0	100	110	2	0	100	1	101	2	211	4
Corynebacterium diphtheriae	10	0	100	110	2	0	10	1	11	2	121	4
toxine de Corynebacterium diphtheriae	1	0	100	101	2	0	100	1	101	2	202	4

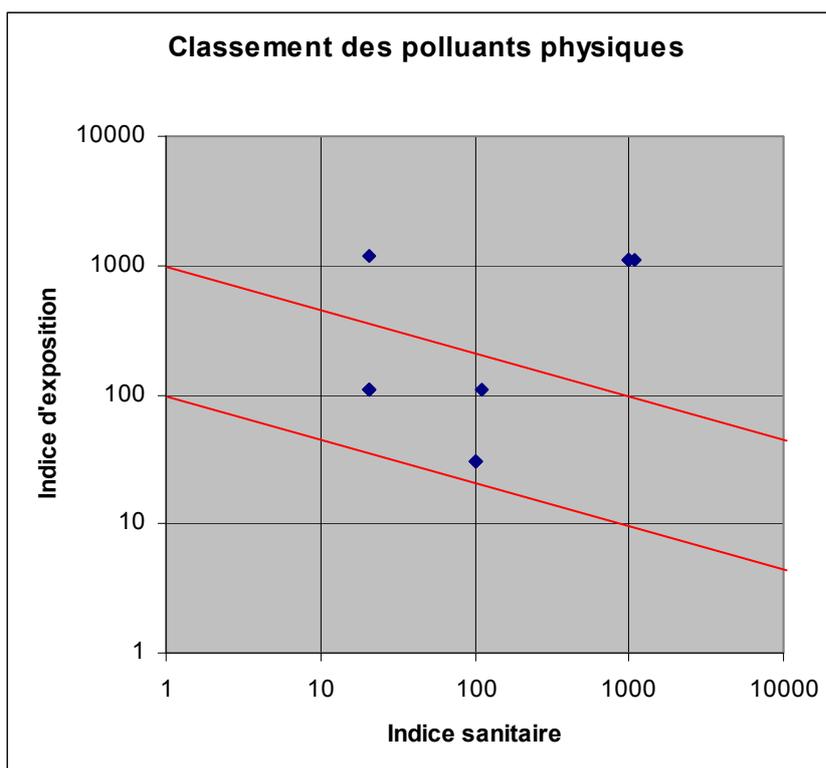
dégradation due à	Plausibilité	Fréquence	Durée d'exposition	Indice d'exposition	Nombre de critères d'exposition	Existence d'une valeur sanitaire	Gravité des effets sur la santé	Gravité des effets sur le confort	Indice sanitaire	Nombre de critères sanitaires	Total	Nombre de critères
Bacillus cereus	10	0	100	110	2	100	100	1	201	3	311	5
spores de Bacillus cereus	1	0	1000	1001	2	0	0	1	1	1	1002	3
toxines de Bacillus cereus toxine thermolabile	1	0	100	101	2	0	0	1	1	1	102	3
toxines de Bacillus cereus toxine thermorésistante	1	0	100	101	2	0	0	1	1	1	102	3
Aulne pollen	1	10	100	111	3	0	10	1	11	2	122	5
Bouleau pollen	1	10	100	111	3	0	100	1	101	2	212	5
Châtaignier pollen	1	10	100	111	3	0	1	1	2	2	113	5
Noisetier pollen	1	10	100	111	3	0	100	1	101	2	212	5
Cyprès pollen	1	10	100	111	3	0	100	1	101	2	212	5
Fresnes pollen	1	10	100	111	3	0	10	1	11	2	122	5
Olivier pollen	1	1	100	102	3	0	10	1	11	2	113	5
Peuplier pollen	1	10	100	111	3	0	1	1	2	2	113	5
Platane pollen	1	10	100	111	3	0	100	1	101	2	212	5
Chêne pollen	1	10	100	111	3	0	100	1	101	2	212	5

dégradation due à	Plausibilité	Fréquence	Durée d'exposition	Indice d'exposition	Nombre de critères d'exposition	Existence d'une valeur sanitaire	Gravité des effets sur la santé	Gravité des effets sur le confort	Indice sanitaire	Nombre de critères sanitaires	Total	Nombre de critères
Tilleul pollen	1	1	100	102	3	0	1	1	2	2	104	5
graminées sauvages pollen	1	100	100	201	3	0	100	1	101	2	302	5
graminées cultivées pollen	1	100	100	201	3	0	100	1	101	2	302	5
graminées ornementales pollen	1	100	100	201	3	0	100	1	101	2	302	5
ambrosie annuelle pollen	1	1	100	102	3	100	100	1	201	3	303	6
ambrosie commune pollen	1	1	100	102	3	100	100	1	201	3	303	6
oseille sauvage pollen	1	10	100	111	3	0	100	1	101	2	212	5
Érable pollen	1	0	100	101	2	0	1	1	2	2	103	4
Mûrier à Papier pollen	1	0	100	101	2	0	1	1	2	2	103	4
Charme pollen	1	0	100	101	2	0	10	1	11	2	112	4
Hêtre pollen	1	0	100	101	2	0	1	1	2	2	103	4
Noyers pollen	1	0	100	101	2	0	1	1	2	2	103	4
Troènes pollen	1	0	100	101	2	0	10	1	11	2	112	4
Charme Houblon pollen	1	0	100	101	2	0	1	1	2	2	103	4

dégradation due à	Plausibilité	Fréquence	Durée d'exposition	Indice d'exposition	Nombre de critères d'exposition	Existence d'une valeur sanitaire	Gravité des effets sur la santé	Gravité des effets sur le confort	Indice sanitaire	Nombre de critères sanitaires	Total	Nombre de critères
Saule pollen	1	10	100	111	3	0	1	1	2	2	113	4
Thuya pollen	1	0	100	101	2	0	1	1	2	2	103	4
Ormes pollen	1	0	100	101	2	0	1	1	2	2	103	4
chénopode blanc pollen	1	0	100	101	2	0	10	1	11	2	112	4
pariétaire diffuse pollen	1	0	100	101	2	0	100	1	101	2	202	4
plantain lancéolé pollen	1	1	100	102	3	0	10	1	11	2	113	4
ricin pollen	1	0	100	101	2	0	10	1	11	2	112	4
Genévriers pollen	1	0	100	101	2	0	0	1	1	1	102	3

## Annexe J : Classement des dégradation et des agents physiques

Rang	Dégradation due à	Indice d'exposition	Indice sanitaire	Classe de priorité	Total
1	amiante naturelle	1101	1101	1	21202
2	radon	1110	1002	1	2112
3	PM2.5	1101	1002	1	2103
4	PM10	1101	1002	1	2103
5	humidité trop forte	1200	21	1	1221
6	humidité trop faible	111	111	2	222
7	déficit en O2	30	102	2	132
8	CO2 excessive	30	102	2	132
9	température trop élevée	111	21	2	132
10	température trop faible	111	21	2	132
11	écart entre les température intérieures et extérieures	111	21	2	132
12	fibres minérales artificielles	30	102	2	132
13	ions négatifs	0	10	4	10
14	ions positifs	0	0	4	0

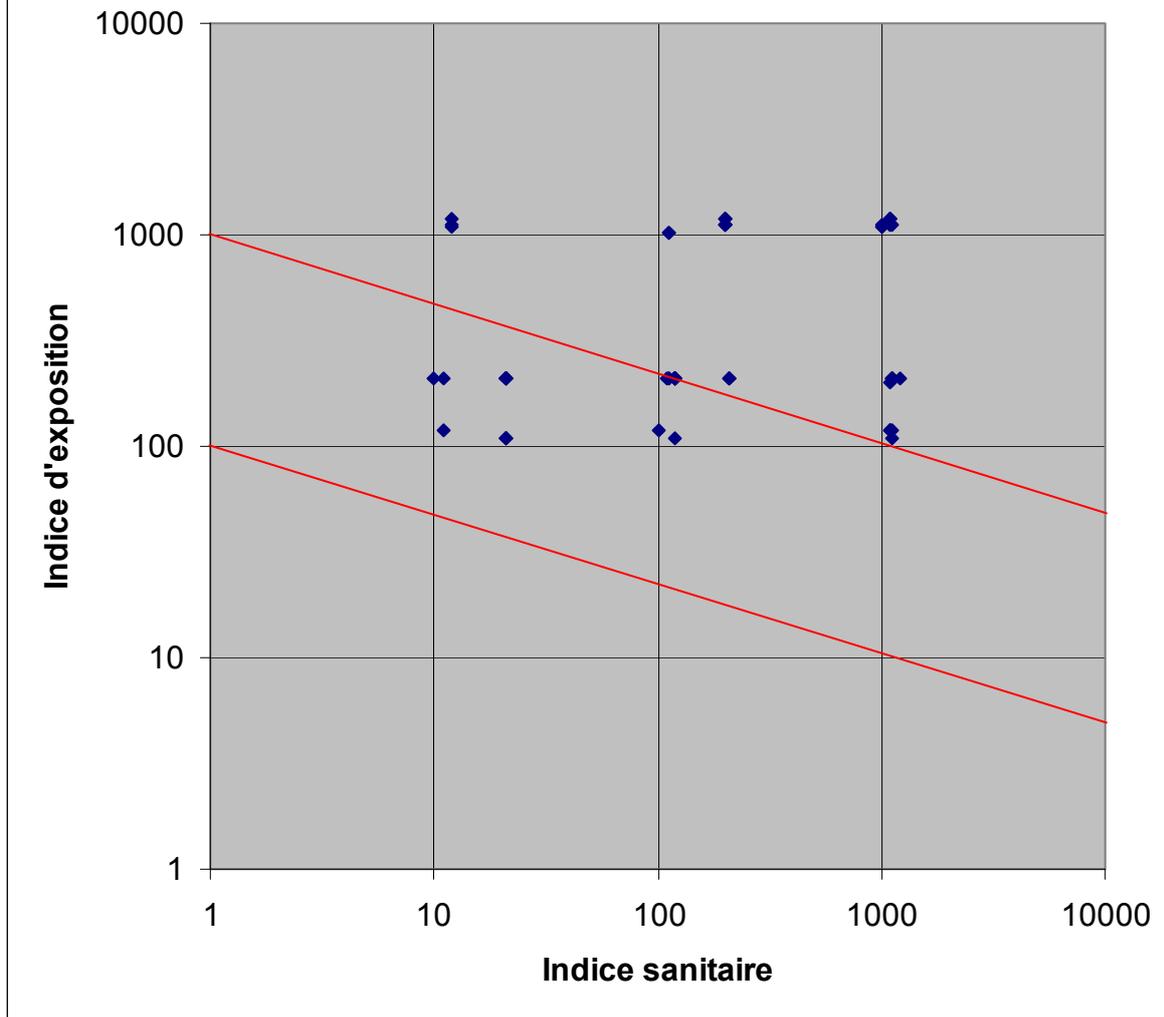


## Annexe K : Classement des agents chimiques

Rang	Source	dégradation due à	Indice d'exposition	Indice sanitaire	Classe de priorité	total
1	sol	plomb	1200	1101	1	2301
2	sol	arsenic	1200	1101	1	2301
3	sol	cadmium	1200	1101	1	2301
4	sol	cuivre	1200	201	1	1401
5	sol	zinc	1200	201	1	1401
6	sol	nickel	1200	201	1	1401
7	sol	CO2	1200	12	1	1212
8	matériau	chlrorure de vinyle	1110	1110	1	2220
9	matériau	cadmium et composés	1110	1101	1	2211
10	matériau	plomb (carbonate basique de plomb)	1110	1101	1	2211
11	matériau	béton	1110	1002	1	2112
12	matériau	zinc (distérate de zinc)	1110	201	1	1311
13	matériau	DEHP	1110	201	1	1311
14	matériau	DINP	1110	201	1	1311
15	matériau	DIDP	1110	201	1	1311
16	matériau	ciment	1110	12	1	1122
17	matériau	pierre	1101	1002	1	2103
18	matériau	terre cuite	1101	1002	1	2103
19	air extérieur	CO2	1101	12	1	1113
20	air extérieur	NOx	1011	111	1	1122
21	air extérieur	CO	1011	111	1	1122
22	sol	formaldéhyde	210	1200	1	1410
23	sol	acroléine	210	1110	1	1320
24	sol	benzène	210	1110	1	1320
25	sol	styrène	210	1110	1	1320
26	sol	tétrachlorure de carbone	210	1110	1	1320
27	sol	naphtalène	210	1110	1	1320
28	sol	acétaldéhyde	210	210	1	420
29	sol	benzaldéhyde	210	210	1	420
30	sol	furfuraldéhyde	210	210	1	420
31	sol	cyclohexanone	210	120	1	330
32	sol	méthanol	210	120	1	330
33	sol	alcool furfurylique	210	120	1	330
34	sol	1,2-Ethanediol	210	120	1	330
35	sol	1,2-Propanediol	210	120	1	330
36	sol	acétone	210	120	1	330
37	sol	méthyléthylacétone	210	120	1	330
38	sol	méthyl-isobutylcétone	210	120	1	330
39	sol	phénylméthylcétone	210	120	1	330
40	sol	isophorone	210	120	1	330
41	sol	glutaraldéhyde	210	120	1	330
42	sol	cyclohexane	210	120	1	330
43	sol	toluène	210	120	1	330
44	sol	trichloroéthylène	210	120	1	330
45	sol	méthyl isobutyl cétone	210	111	1	321
46	sol	xylène	210	111	1	321
47	sol	propionaldéhyde	210	110	1	320
48	sol	H2S	200	1101	1	1301
49	sol	dichlorobenzène	120	1110	1	1230

Rang	Source	dégradation due à	Indice d'exposition	Indice sanitaire	Classe de priorité	total
50	sol	benzo(a)pyrène	120	1101	1	1221
51	sol	phénols	120	1100	1	1220
52	sol	PCB	120	1100	1	1220
53	sol	acrylonitrile	110	1110	1	1220
54	sol	éthanol	210	21	2	231
55	sol	isopropanol	210	21	2	231
56	sol	alcool isoamylique	210	21	2	231
57	sol	méthylbutylcétone	210	21	2	231
58	sol	N-méthylpyrrolidone	210	21	2	231
59	sol	méthyl ethyl cétone	210	21	2	231
60	sol	ethylbenzène	210	21	2	231
61	sol	1,1,1-trichloroéthane	210	21	2	231
62	sol	indène	210	11	2	221
63	sol	hexaldéhyde	210	10	2	220
64	sol	dioxines et furannes	120	101	2	221
65	sol	acridine	120	11	2	131
66	sol	sulfure de carbone	110	120	2	230
67	sol	n-butanol	110	21	2	131
68	sol	acétate d'éthyle	110	21	2	131
69	sol	éther éthylique	110	21	2	131
70	sol	isobutanol	110	21	2	131
71	air extérieur	O3	11	201	3	212
72	air extérieur	SO2	11	111	3	122
74	matériau	PE	1110	1	4	1111
75	matériau	PP	1110	1	4	1111
85	matériau	TPC	1110	0	4	1110
76	matériau	grès vitrifié	1101	1	4	1102
77	matériau	acier galvanisé	1101	1	4	1102
78	matériau	acier inoxydable	1101	1	4	1102
80	sol	fluoranthène	120	100	4	220
81	sol	phénantrène	120	100	4	220
82	sol	anthracène	120	100	4	220
79	sol	valéraldéhyde	210	1	4	211
86	sol	butyraldéhyde	210	0	4	210
87	sol	crotonaldéhyde	210	0	4	210
84	air extérieur	H2S	101	100	4	201
88	sol	benzothiophène	120	0	4	120
83	air extérieur	CH4	101	1	4	102
72	sol	trétradofuranne	100	0	4	100
73	sol	acétate de vinyle	100	0	4	100

## Classification des polluants chimiques

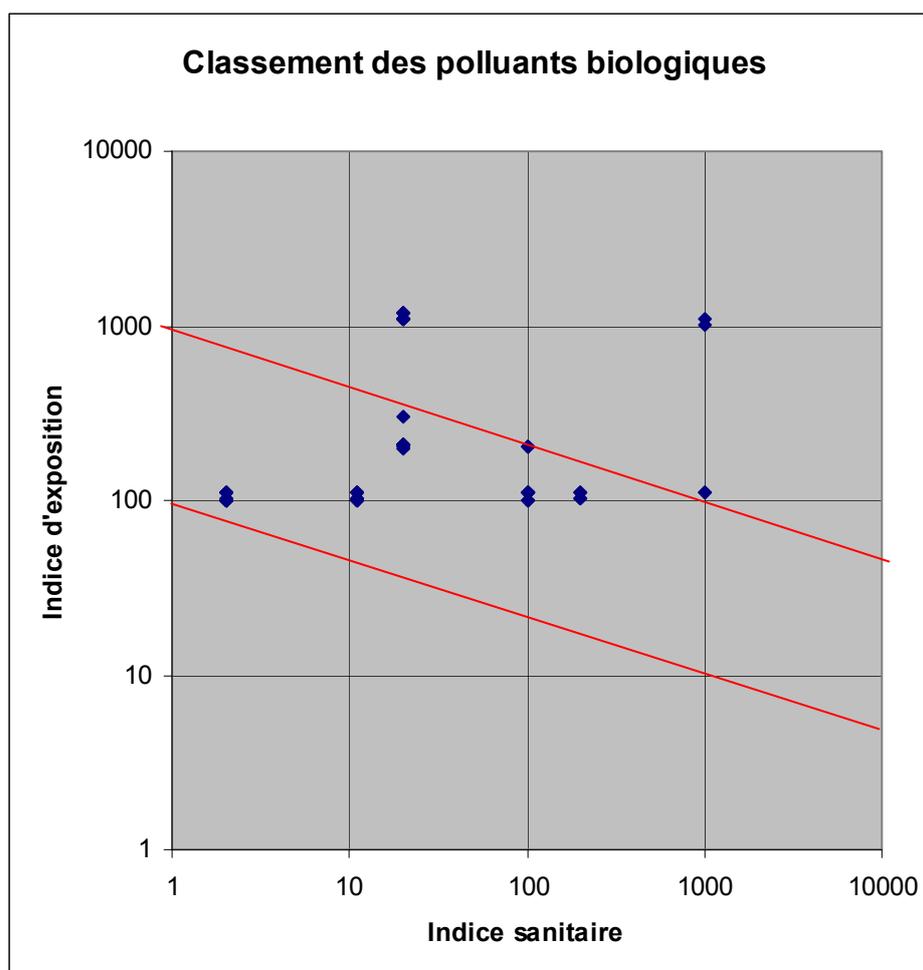


## Annexe L : Classement des agents d'origine biologique

Rang	Dégradation due à	Indice d'exposition	Indice sanitaire	Classe de priorité	Total
1	Aspergillus niger spore	1110	1010	1	2120
2	spores de Bacillus anthracis	1001	1001	1	2002
3	Cladosporium bantianum spores	1200	20	1	1220
4	spores	1200	20	1	1220
5	Cladosporium cladosporioides spores	1200	20	1	1220
6	Alternaria alternata spores	1101	20	1	1121
7	Trichoderma harzianum spores	1101	20	1	1121
8	Botrytis cinerea spores	1101	20	1	1121
9	Fusarium solani spores	1101	20	1	1121
10	Mucor circinelloides spores	1101	20	1	1121
11	Aureobassidium pollulans spores	1101	20	1	1121
12	Rhizopus microsporus spores	1101	20	1	1121
13	Legionella pneumophila	110	1001	1	1111
14	Streptococcus pneumoniae	110	1001	1	1111
15	graminées sauvages pollen	201	101	1	302
16	graminées cultivées pollen	201	101	1	302
17	graminées ornementales pollen	201	101	1	302
18	mélange de mycotoxines, glucanes, antigènes, endotoxines	300	20	2	320
19	Bacillus cereus	110	201	2	311
20	Bacillus anthracis	110	201	2	311
21	ambroisie annuelle pollen	102	201	2	303
22	ambroisie commune pollen	102	201	2	303
23	Aspergillus flavus métabolite toxique: Aflatoxines	210	20	2	230
24	MCOV ou COVm	210	20	2	230
25	Penicillium	210	20	2	230
26	Aspergillus fumigatus	210	20	2	230
27	Aspergillus fumigatus métabolite toxique: Gliotoxine	210	20	2	230
28	Aspergillus versicolor métabolite toxique: Stérigmatocystine,	210	20	2	230
29	Aspergillus versicolor métabolite toxique: Géosmine	210	20	2	230
30	Trichoderma harzianum métabolite toxique: Gliotoxines	201	20	2	221
31	mycotoxines	200	20	2	220
32	oseille sauvage pollen	111	101	2	212
33	Noisetier pollen	111	101	2	212
34	Platane pollen	111	101	2	212

Rang	Dégradation due à	Indice d'exposition	Indice sanitaire	Classe de priorité	Total
35	Cyprés pollen	111	101	2	212
36	Bouleau pollen	111	101	2	212
37	Chêne pollen	111	101	2	212
38	Staphylococcus aureus	110	101	2	211
39	Streptococcus pyogenes	110	101	2	211
40	toxines de Staphylococcus aureus toxine du choc toxique staphylococcique (TSST-1)	101	101	2	202
41	toxine de Corynebacterium diphtheriae	101	101	2	202
42	pariétaire diffuse pollen	101	101	2	202
43	Aulne pollen	111	11	2	122
44	Fresnes pollen	111	11	2	122
45	Corynebacterium diphtheriae	110	11	2	121
46	candida albicans	110	11	2	121
47	Châtaignier pollen	111	2	2	113
48	Peuplier pollen	111	2	2	113
49	Olivier pollen	102	11	2	113
50	Saule pollen	111	2	2	113
51	plantain lancéolé pollen	102	11	2	113
52	Micrococcus	110	2	2	112
53	Charme pollen	101	11	2	112
54	Troènes pollen	101	11	2	112
55	chénopode blanc pollen	101	11	2	112
56	ricin pollen	101	11	2	112
57	Tilleul pollen	102	2	2	104
58	toxines de Staphylococcus aureus toxine exfoliative A	101	2	2	103
59	Érable pollen	101	2	2	103
60	Mûrier à Papier pollen	101	2	2	103
61	Hêtre pollen	101	2	2	103
62	Noyers pollen	101	2	2	103
63	Charme Houblon pollen	101	2	2	103
64	Thuya pollen	101	2	2	103
65	Ormes pollen	101	2	2	103

Rang	Dégradation due à	Indice d'exposition	Indice sanitaire	Classe de priorité	Total
66	Tamnidium spores	1101	10	4	1111
68	Mucor racemosus spores	1101	10	4	1111
74	spores de Bacillus cereus	1001	1	4	1002
67	Paecydomyces	201	10	4	211
69	toxines de Staphylococcus aureus toxine exfoliative B	101	1	4	102
70	toxines de Staphylococcus aureus entérotoxines staphylococciques E	101	1	4	102
71	toxines de Staphylococcus aureus entérotoxines staphylococciques A	101	1	4	102
72	toxines de Bacillus cereus toxine thermorésistante	101	1	4	102
73	toxines de Bacillus cereus toxine thermolabile	101	1	4	102
75	Genévriers pollen	101	1	4	102



## Annexe M : Tableau AMDEC

Rang	Phase	Défaut	Conséquences		Gravité		Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité fonction nement	Criticité santé	Propositions de solutions
			directes	indirectes	fonction nement	santé					
1	Conception	Mauvais choix du matériau des tubes	Résistance mécanique insuffisante (fissures, fractures, perforations)	Impact sur le développement des moisissures (toutes)	3	3		3	9	9	
1	Conception	Mauvais choix du matériau des tubes	Résistance mécanique insuffisante (fissures, fractures, perforations)	Impact sur le développement des bactéries (toutes)	3	3		3	9	9	
1	Conception	Mauvais choix du matériau des tubes	Résistance mécanique insuffisante (fissures, fractures, perforations)	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	3	3		3	9	9	
1	Conception	Mauvais choix du matériau des tubes	Résistance mécanique insuffisante (fissures, fractures, perforations)	Impact sur l'accumulation de particules (toutes)	3	3		3	9	9	
1	Conception	Mauvais choix du matériau des tubes	Résistance mécanique insuffisante (fissures, fractures, perforations)	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant du sol	3	3		3	9	9	
1	Conception	Mauvais choix du matériau des tubes	Résistance mécanique insuffisante (fissures, fractures, perforations)	Impact sur la température de l'air	3	3		3	9	9	
1	Conception	Mauvais choix du matériau des tubes	Résistance mécanique insuffisante (fissures, fractures, perforations)	Impact sur l'humidité de l'air	3	3		3	9	9	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences		Gravité		Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité fonction nement	Criticité santé	Propositions de solutions
			directes	indirectes	fonction nement	santé					
1	Conception	Mauvais choix des regards	Gênes pour l'entretien (l'entretien est aussi à prendre en compte lors de la conception)	Impact sur le développement des moisissures	3	3		3	9	9	
1	Conception	Mauvais choix des regards	Gênes pour l'entretien (l'entretien est aussi à prendre en compte lors de la conception)	Impact sur le développement des bactéries	3	3		3	9	9	
1	Entretien/utilisation	Mauvais entretien de la grille (colmatage, choix, absence)	Intrusion d' animaux, d'objets	Impact sur le développement des moisissures (provenant de l'air extérieur)	3	3		3	9	9	
1	Entretien/utilisation	Mauvais entretien de la grille (colmatage, choix, absence)	Intrusion d' animaux, d'objets	Impact sur le développement des bactéries (provenant de l'air extérieur)	3	3		3	9	9	
1	Entretien/utilisation	Mauvais entretien de la grille (colmatage, choix, absence)	Intrusion d' animaux, d'objets	Impact sur l'accumulation de particules (provenant de l'air extérieur)	3	3		3	9	9	
1	Entretien/utilisation	Mauvais entretien de la grille (colmatage, choix, absence)	Intrusion d' animaux, d'objets	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant de l'air extérieur	3	3		3	9	9	
1	Entretien/utilisation	Mauvais entretien de la grille (colmatage, choix, absence)	Intrusion d' animaux, d'objets	Impact sur l'humidité de l'air	3	3		3	9	9	
1	Mise en œuvre	Absence de protection durant transport, stockage et chantier	Endommagement des tubes	Impact sur le développement des moisissures (toutes)	3	3		3	9	9	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences		Gravité		Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité fonction- nement	Criticité santé	Propositions de solutions
1	Mise en œuvre	Absence de protection durant transport, stockage et chantier	Endommagement des tubes	Impact sur l'humidité de l'air	3	3		3	9	9	
1	Mise en œuvre	Absence de protection durant transport, stockage et chantier	Endommagement des tubes	Impact sur le développement des bactéries (toutes)	3	3		3	9	9	
1	Mise en œuvre	Absence de protection durant transport, stockage et chantier	Endommagement des tubes	Impact sur l'accumulation de particules (toutes)	3	3		3	9	9	
1	Mise en œuvre	Absence de protection durant transport, stockage et chantier	Endommagement des tubes	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant du sol	3	3		3	9	9	
2	Conception	Mauvais choix du matériau des tubes	Intrusion de sol et contamination possible	Impact sur le développement des moisissures (provenant du sol)	2	3		3	6	9	
2	Conception	Mauvais choix du matériau des tubes	Intrusion de sol et contamination possible	Impact sur le développement des bactéries (provenant du sol)	2	3		3	6	9	
2	Conception	Mauvais choix du matériau des tubes	Intrusion de sol et contamination possible	Impact sur l'accumulation de particules (provenant du sol)	2	3		3	6	9	
2	Conception	Mauvais choix du matériau des tubes	Intrusion de sol et contamination possible	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant du sol (micro-organismes ou polluants solide ou adsorbés)	2	3		3	6	9	
2	Conception	Mauvais choix du matériau des tubes	Intrusion de sol et contamination possible	Impact sur l'humidité de l'air	2	3		3	6	9	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences		Gravité		Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité fonction nement	Criticité santé	Propositions de solutions
2	Conception	Mauvais choix du matériau des tubes	Passage de liquides provenant du sol	Impact sur le développement des moisissures (provenant du sol)	2	3		3	6	9	
2	Conception	Mauvais choix du matériau des tubes	Passage de liquides provenant du sol	Impact sur le développement des bactéries (provenant du sol)	2	3		3	6	9	
2	Conception	Mauvais choix du matériau des tubes	Passage de liquides provenant du sol	Impact sur l'humidité de l'air	2	3		3	6	9	
2	Conception	Mauvais choix du matériau des tubes	Passage de liquides provenant du sol	Impact sur l'accumulation de particules (provenant du sol)	2	3		3	6	9	
2	Conception	Mauvais choix du matériau des tubes	Passage de liquides provenant du sol	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant du sol	2	3		3	6	9	
2	Conception	Mauvais choix du matériau des tubes	Porosité, relief, rugosité, vieillissement de la surface interne	Impact sur le développement des moisissures (toutes)	2	3		3	6	9	
2	Conception	Mauvais choix du matériau des tubes	Porosité, relief, rugosité, vieillissement de la surface interne	Impact sur le développement des bactéries (toutes)	2	3		3	6	9	
2	Conception	Mauvais choix du matériau des tubes	Porosité, relief, rugosité, vieillissement de la surface interne	Impact sur l'humidité de l'air	2	3		3	6	9	
2	Conception	Mauvais choix du matériau des tubes	Porosité, relief, rugosité, vieillissement de la surface interne	Impact sur l'accumulation de particules (toutes)	2	3		3	6	9	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences		Gravité		Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité fonction nement	Criticité santé	Propositions de solutions
2	Conception	Mauvais choix de la prise d'air (modèle, emplacement, hauteur...)	Intrusion d'eau de pluie	Impact sur le développement des moisissures (nécessitant de l'humidité)	2	3		3	6	9	
2	Conception	Mauvais choix de la prise d'air (modèle, emplacement, hauteur...)	Intrusion d'eau de pluie	Impact sur le développement des bactéries (nécessitant de l'humidité)	2	3		3	6	9	
2	Conception	Mauvais choix de la prise d'air (modèle, emplacement, hauteur...)	Intrusion d'eau de pluie	Impact sur l'humidité de l'air	2	3		3	6	9	
2	Conception	Mauvais choix de la prise d'air (modèle, emplacement, hauteur...)	Intrusion d'eau de pluie	Impact sur l'accumulation de particules	2	3		3	6	9	
2	Conception	Mauvais choix de la prise d'air (modèle, emplacement, hauteur...)	Aspiration de polluants et particules	Impact sur le développement des moisissures (provenant de l'air extérieur)	2	3		3	6	9	
2	Conception	Mauvais choix de la prise d'air (modèle, emplacement, hauteur...)	Aspiration de polluants et particules	Impact sur le développement des bactéries (provenant de l'air extérieur)	2	3		3	6	9	
2	Conception	Mauvais choix de la prise d'air (modèle, emplacement, hauteur...)	Aspiration de polluants et particules	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	2	3		3	6	9	
2	Conception	Mauvais choix de la prise d'air (modèle, emplacement, hauteur...)	Aspiration de polluants et particules	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant de l'air extérieur	2	3		3	6	9	
2	Conception	Mauvais choix de la prise d'air (modèle, emplacement, hauteur...)	Aspiration de polluants et particules	Impact sur l'accumulation de particules (provenant de l'air extérieur)	2	3		3	6	9	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences		Gravité		Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité fonction nement	Criticité santé	Propositions de solutions
2	Conception	Mauvais choix de la prise d'air (modèle, emplacement, hauteur...)	Résistance insuffisante aux intempéries	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	2	3		3	6	9	
2	Conception	Mauvais choix des regards	Intrusion d'eau	Impact sur le développement des moisissures (nécessitant de l'humidité)	2	3		3	6	9	
2	Conception	Mauvais choix des regards	Intrusion d'eau	Impact sur le développement des bactéries (nécessitant de l'humidité)	2	3		3	6	9	
2	Conception	Mauvais choix des regards	Intrusion d'eau	Impact sur l'humidité de l'air	2	3		3	6	9	
2	Conception	Mauvais choix des regards	Intrusion d'eau	Impact sur l'accumulation de particules	2	3		3	6	9	
2	Conception	Mauvaise étude environnementale (vents et précipitations)	Intrusion d'eau de pluie dans le puits	Impact sur le développement des moisissures (nécessitant de l'humidité)	2	3		3	6	9	
2	Conception	Mauvaise étude environnementale (vents et précipitations)	Intrusion d'eau de pluie dans le puits	Impact sur le développement des bactéries (nécessitant de l'humidité)	2	3		3	6	9	
2	Conception	Mauvaise étude environnementale (vents et précipitations)	Intrusion d'eau de pluie dans le puits	Impact sur l'humidité de l'air	2	3		3	6	9	
2	Conception	Mauvaise étude environnementale (vents et précipitations)	Intrusion d'eau de pluie dans le puits	Impact sur l'accumulation de particules	2	3		3	6	9	
2	Entretien/utilisation	Mauvaise utilisation du puits (durée, continuité...)	Besoins d'entretien	Impact sur le développement des moisissures (toutes)	2	3		3	6	9	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences		Gravité		Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité fonction nement	Criticité santé	Propositions de solutions
2	Entretien/utilisation	Mauvaise utilisation du puits (durée, continuité...)	Besoins d'entretien	Impact sur le développement des bactéries (toutes)	2	3		3	6	9	
2	Entretien/utilisation	Mauvaise utilisation du puits (durée, continuité...)	Besoins d'entretien	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant du sol ((tous)	2	3		3	6	9	
2	Entretien/utilisation	Mauvaise utilisation du puits (durée, continuité...)	Besoins d'entretien	Impact sur l'humidité de l'air	2	3		3	6	9	
2	Entretien/utilisation	Mauvaise utilisation du puits (durée, continuité...)	Besoins d'entretien	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant des matériaux	2	3		3	6	9	
2	Entretien/utilisation	Mauvaise utilisation du puits (durée, continuité...)	Besoins d'entretien	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant de l'air extérieur	2	3		3	6	9	
2	Entretien/utilisation	Mauvaise utilisation du puits (durée, continuité...)	Besoins d'entretien	Impact sur l'accumulation de particules (toutes)	2	3		3	6	9	
2	Entretien/utilisation	Panne de la pompe	Accumulation d'eau	Impact sur le développement des moisissures (nécessitant de l'humidité)	2	3		3	6	9	
2	Entretien/utilisation	Panne de la pompe	Accumulation d'eau	Impact sur le développement des bactéries (nécessitant de l'humidité)	2	3		3	6	9	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences		Gravité		Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité fonction nement	Criticité santé	Propositions de solutions
2	Entretien/utilisation	Panne de la pompe	Accumulation d'eau	Impact sur l'humidité de l'air	2	3		3	6	9	
2	Entretien/utilisation	Panne de la pompe	Accumulation d'eau	Impact sur l'accumulation de particules	2	3		3	6	9	
2	Entretien/utilisation	Mauvais entretien de la grille (colmatage, choix, absence)	Colmatage	Impact sur le développement des moisissures	2	3		3	6	9	
2	Entretien/utilisation	Mauvais entretien de la grille (colmatage, choix, absence)	Colmatage	Impact sur le développement des bactéries	2	3		3	6	9	
2	Entretien/utilisation	panne du ventilateur (non spécifique au puits canadien)	Confinement du puits	Impact sur le développement des moisissures	2	3		3	6	9	
2	Entretien/utilisation	panne du ventilateur (non spécifique au puits canadien)	Confinement du puits	Impact sur le développement des bactéries	2	3		3	6	9	
2	Entretien/utilisation	panne du ventilateur (non spécifique au puits canadien)	Confinement du puits	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant du sol	2	3		3	6	9	
2	Entretien/utilisation	panne du ventilateur (non spécifique au puits canadien)	Confinement du puits	Impact sur l'humidité de l'air	2	3		3	6	9	
2	Entretien/utilisation	panne du ventilateur (non spécifique au puits canadien)	Confinement du puits	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant des matériaux	2	3		3	6	9	
2	Mise en œuvre	Salissures lors de la mise en œuvre	Impact sur le développement des moisissures (toutes)		2	3		3	6	9	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences		Gravité		Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité fonction nement	Criticité santé	Propositions de solutions
2	Mise en œuvre	Salissures lors de la mise en œuvre	Impact sur le développement des bactéries (toutes)		2	3		3	6	9	
2	Mise en œuvre	Salissures lors de la mise en œuvre	Impact sur l'accumulation de particules (toutes)		2	3		3	6	9	
2	Mise en œuvre	Salissures lors de la mise en œuvre	Impact sur l'humidité de l'air		2	3		3	6	9	
2	Mise en œuvre	Mauvaise installation du siphon	Accumulation d'eau	Impact sur le développement des moisissures (nécessitant de l'humidité)	2	3		3	6	9	
2	Mise en œuvre	Mauvaise installation du siphon	Accumulation d'eau	Impact sur le développement des bactéries (nécessitant de l'humidité)	2	3		3	6	9	
2	Mise en œuvre	Mauvaise installation du siphon	Accumulation d'eau	Impact sur l'humidité de l'air	2	3		3	6	9	
2	Mise en œuvre	Mauvaise installation du siphon	Accumulation d'eau	Impact sur l'accumulation de particules	2	3		3	6	9	
2	Mise en œuvre	Mauvaise installation de la pompe	Accumulation d'eau	Impact sur le développement des moisissures (nécessitant de l'humidité)	2	3		3	6	9	
2	Mise en œuvre	Mauvaise installation de la pompe	Accumulation d'eau	Impact sur le développement des bactéries (nécessitant de l'humidité)	2	3		3	6	9	
2	Mise en œuvre	Mauvaise installation de la pompe	Accumulation d'eau	Impact sur l'humidité de l'air	2	3		3	6	9	
2	Mise en œuvre	Mauvaise installation de la pompe	Accumulation d'eau	Impact sur l'accumulation de particules	2	3		3	6	9	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences		Gravité		Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité fonction nement	Criticité santé	Propositions de solutions
2	Mise en œuvre	Mauvaise installation de la pompe	Contamination par les eaux usées	Impact sur le développement des moisissures (nécessitant de l'humidité)	2	3		3	6	9	
2	Mise en œuvre	Mauvaise installation de la pompe	Contamination par les eaux usées	Impact sur l'humidité de l'air	2	3		3	6	9	
2	Mise en œuvre	Mauvaise installation de la pompe	Contamination par les eaux usées	Impact sur le développement des bactéries (nécessitant de l'humidité et surtout des bactéries des eaux usées)	2	3		3	6	9	
3	Conception	Mauvais choix du matériau des tubes	Passage des gaz du sol	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant du sol (gaz)	1	3		3	3	9	
3	Conception	Mauvais choix du matériau des tubes	Relargage de polluant chimique par le matériau	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant des matériaux	1	3		3	3	9	
3	Conception	Mauvais choix de la prise d'air (modèle, emplacement, hauteur...)	Relargage de polluant chimique par le matériau	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant des matériaux	1	3		3	3	9	
3	Entretien/utilisation	Mauvaise utilisation du puits (durée, continuité...)	Confinement du puits	Impact sur le développement des moisissures (toutes)	1	3		3	3	9	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences		Gravité		Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité fonction nement	Criticité santé	Propositions de solutions
3	Entretien/utilisation	Mauvaise utilisation du puits (durée, continuité...)	Confinement du puits	Impact sur le développement des bactéries (toutes)	1	3		3	3	9	
3	Entretien/utilisation	Mauvaise utilisation du puits (durée, continuité...)	Confinement du puits	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant du sol (tous)	1	3		3	3	9	
3	Entretien/utilisation	Mauvaise utilisation du puits (durée, continuité...)	Confinement du puits	Impact sur l'humidité de l'air	1	3		3	3	9	
3	Entretien/utilisation	Mauvaise utilisation du puits (durée, continuité...)	Confinement du puits	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant des matériaux	1	3		3	3	9	
3	Entretien/utilisation	Mauvaise utilisation du puits (durée, continuité...)	Remise en suspension des dépôts lors de remise en fonctionnement	Impact sur le développement des moisissures (toutes)	1	3		3	3	9	
3	Entretien/utilisation	Mauvaise utilisation du puits (durée, continuité...)	Remise en suspension des dépôts lors de remise en fonctionnement	Impact sur le développement des bactéries (toutes)	1	3		3	3	9	
3	Entretien/utilisation	Mauvaise utilisation du puits (durée, continuité...)	Remise en suspension des dépôts lors de remise en fonctionnement	Impact sur l'accumulation de particules (toutes)	1	3		3	3	9	
3	Entretien/utilisation	Mauvaise utilisation du puits (durée, continuité...)	Remise en suspension des dépôts lors de remise en fonctionnement	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant de l'air extérieur	1	3		3	3	9	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences		Gravité		Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité fonction nement	Criticité santé	Propositions de solutions
3	Entretien/utilisation	Mauvaise utilisation du puits (durée, continuité...)	Remise en suspension des dépôts lors de remise en fonctionnement	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant du sol	1	3		3	3	9	
3	Entretien/utilisation	Mauvais entretien de la grille (colmatage, choix, absence)	Rélargie de polluant chimique par le matériau	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant des matériaux	1	3		3	3	9	
3	Mise en œuvre	Absence de protection durant transport, stockage et chantier	Contamination par des polluants	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant du sol	1	3		3	3	9	
3	Mise en œuvre	Absence de protection durant transport, stockage et chantier	Contamination par des polluants	Impact sur le développement des moisissures (toutes)	1	3		3	3	9	
3	Mise en œuvre	Absence de protection durant transport, stockage et chantier	Contamination par des polluants	Impact sur le développement des bactéries (toutes)	1	3		3	3	9	
3	Mise en œuvre	Absence de protection durant transport, stockage et chantier	Contamination par des polluants	Impact sur l'accumulation de particules (toutes)	1	3		3	3	9	
4	Conception	Mauvais choix du matériau des tubes	Mauvais échange thermique	Impact sur la température de l'air	3	2		3	9	6	
4	Conception	Mauvais choix de la prise d'air (modèle, emplacement, hauteur...)	Mauvaise entrée de l'air	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	3	2		3	9	6	
4	Mise en œuvre	Absence de protection durant transport, stockage et chantier	Endommagement des tubes	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	3	2		3	9	6	
4	Mise en œuvre	Absence de protection durant transport, stockage et chantier	Endommagement des tubes	Impact sur la température de l'air	3	2		3	9	6	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences		Gravité		Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité fonction nement	Criticité santé	Propositions de solutions
5	Conception	Mauvais choix du matériau des tubes	Intrusion de sol et contamination possible	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	2	2		3	6	6	
5	Conception	Mauvais choix du matériau des tubes	Passage de liquides provenant du sol	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	2	2		3	6	6	
5	Conception	Mauvais choix du matériau des tubes	Porosité, relief, rugosité, vieillissement de la surface interne	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	2	2		3	6	6	
6	Conception	Mauvaise étude environnementale (identification des obstacles)	Endommagement des tubes	Impact sur le développement des moisissures (provenant du sol)	3	3		2	6	6	
5	Conception	Mauvaise étude environnementale (identification des obstacles)	Endommagement des tubes	Impact sur l'humidité de l'air	3	3		2	6	6	
5	Conception	Mauvaise étude environnementale (identification des obstacles)	Endommagement des tubes	Impact sur le développement des bactéries (provenant du sol)	3	3		2	6	6	
5	Conception	Mauvaise étude environnementale (identification des obstacles)	Endommagement des tubes	Impact sur l'accumulation de particules (provenant du sol)	3	3		2	6	6	
5	Conception	Mauvaise étude environnementale (identification des obstacles)	Endommagement des tubes	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant du sol	3	3		2	6	6	
5	Conception	Mauvaise étude environnementale (géotechnique)	Rupture de pente	Impact sur le développement des moisissures (provenant de l'air extérieur)	3	3		2	6	6	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences		Gravité		Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité fonction nement	Criticité santé	Propositions de solutions
5	Conception	Mauvaise étude environnementale (géotechnique)	Rupture de pente	Impact sur le développement des bactéries (provenant de l'air extérieur)	3	3		2	6	6	
5	Conception	Mauvaise étude environnementale (géotechnique)	Rupture de pente	Impact sur l'humidité de l'air	3	3		2	6	6	
5	Conception	Mauvaise étude environnementale (géotechnique)	Rupture de pente	Impact sur l'accumulation de particules (provenant de l'air extérieur)	3	3		2	6	6	
5	Conception	Mauvaise étude environnementale (géotechnique)	Endommagement des tubes	Impact sur le développement des moisissures (toutes)	3	3		2	6	6	
5	Conception	Mauvaise étude environnementale (géotechnique)	Endommagement des tubes	Impact sur le développement des bactéries (toutes)	3	3		2	6	6	
5	Conception	Mauvaise étude environnementale (géotechnique)	Endommagement des tubes	Impact sur l'humidité de l'air	3	3		2	6	6	
5	Conception	Mauvaise étude environnementale (géotechnique)	Endommagement des tubes	Impact sur l'accumulation de particules (toutes)	3	3		2	6	6	
5	Conception	Mauvaise étude environnementale (géotechnique)	Endommagement des tubes	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant du sol	3	3		2	6	6	
5	Conception	Mauvais choix de la prise d'air (modèle, emplacement, hauteur...)	Intrusion d'eau de pluie	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	2	2		3	6	6	
5	Conception	Mauvais choix des tubes et des raccords	Mauvaise étanchéité	Impact sur le développement des moisissures (nécessitant de l'humidité)	3	3		2	6	6	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences		Gravité		Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité fonction nement	Criticité santé	Propositions de solutions
5	Conception	Mauvais choix des tubes et des raccords	Mauvaise étanchéité	Impact sur le développement des bactéries (nécessitant de l'humidité)	3	3		2	6	6	
5	Conception	Mauvais choix des tubes et des raccords	Mauvaise étanchéité	Impact sur l'accumulation de particules	3	3		2	6	6	
5	Conception	Mauvais choix des tubes et des raccords	Mauvaise étanchéité	Impact sur l'humidité de l'air	3	3		2	6	6	
5	Conception	Mauvais choix des tubes et des raccords	Mauvaise étanchéité	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant du sol (tous)	3	3		2	6	6	
5	Conception	Mauvais choix des tubes et des raccords	Endommagement des tubes (incompatibilité entre raccords et tubes)	Impact sur le développement des moisissures	3	3		2	6	6	
5	Conception	Mauvais choix des tubes et des raccords	Endommagement des tubes (incompatibilité entre raccords et tubes)	Impact sur le développement des bactéries	3	3		2	6	6	
5	Conception	Mauvais choix des tubes et des raccords	Endommagement des tubes (incompatibilité entre raccords et tubes)	Impact sur l'humidité de l'air	3	3		2	6	6	
5	Conception	Mauvais choix des tubes et des raccords	Endommagement des tubes (incompatibilité entre raccords et tubes)	Impact sur l'accumulation de particules	3	3		2	6	6	
5	Conception	Mauvais choix des tubes et des raccords	Endommagement des tubes (incompatibilité entre raccords et tubes)	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant du sol	3	3		2	6	6	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences		Gravité		Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité fonction nement	Criticité santé	Propositions de solutions
5	Conception	Mauvaise étude environnementale (hydrogéologie)	Intrusion possible de grande quantités d'eau (pouvant aller jusqu'à noyer le puits)	Impact sur le développement des moisissures (nécessitant de l'humidité)	3	3		2	6	6	
5	Conception	Mauvaise étude environnementale (hydrogéologie)	Intrusion possible de grande quantités d'eau (pouvant aller jusqu'à noyer le puits)	Impact sur le développement des bactéries (nécessitant de l'humidité)	3	3		2	6	6	
5	Conception	Mauvaise étude environnementale (hydrogéologie)	Intrusion possible de grande quantités d'eau (pouvant aller jusqu'à noyer le puits)	Impact sur l'humidité de l'air	3	3		2	6	6	
5	Conception	Mauvais choix du système d'évacuation des condensats	Remontée d'eau et de polluant par le puits d'infiltration	Impact sur le développement des moisissures (nécessitant de l'humidité)	3	3		2	6	6	
5	Conception	Mauvais choix du système d'évacuation des condensats	Remontée d'eau et de polluant par le puits d'infiltration	Impact sur l'humidité de l'air	3	3		2	6	6	
5	Conception	Mauvais choix du système d'évacuation des condensats	Remontée d'eau et de polluant par le puits d'infiltration	Impact sur le développement des bactéries (nécessitant de l'humidité)	3	3		2	6	6	
5	Conception	Mauvais choix du système d'évacuation des condensats	Remontée d'eau et de polluant par le puits d'infiltration	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant du sol (tous)	3	3		2	6	6	
5	Conception	Mauvais choix du système d'évacuation des condensats	Remontée d'eau et de polluant par le puits d'infiltration	Impact sur l'accumulation de particules	3	3		2	6	6	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences		Gravité		Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité fonction nement	Criticité santé	Propositions de solutions
5	Conception	Mauvais dimensionnement de la pente	Accumulation d'eau dans le puits	Impact sur le développement des moisissures (nécessitant de l'humidité)	3	3		2	6	6	
5	Conception	Mauvais dimensionnement de la pente	Accumulation d'eau dans le puits	Impact sur le développement des bactéries (nécessitant de l'humidité)	3	3		2	6	6	
5	Conception	Mauvais dimensionnement de la pente	Accumulation d'eau dans le puits	Impact sur l'humidité de l'air	3	3		2	6	6	
5	Conception	Mauvais dimensionnement de la pente	Accumulation d'eau dans le puits	Impact sur l'accumulation de particules	3	3		2	6	6	
5	Conception	Mauvais choix des regards	Intrusion d'eau	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	2	2		3	6	6	
5	Conception	Mauvaise étude environnementale (vents et précipitations)	Intrusion d'eau de pluie dans le puits	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	2	2		3	6	6	
5	Conception	Mauvais choix du design	Pertes de charge	Impact sur le développement des moisissures (toutes)	3	3		2	6	6	
5	Conception	Mauvais choix du design	Pertes de charge	Impact sur le développement des bactéries (toutes)	3	3		2	6	6	
5	Conception	Mauvais choix du design	Pertes de charge	Impact sur l'accumulation de particules (toutes)	3	3		2	6	6	
5	Conception	Mauvais choix du design	Difficultés de réalisation (la réalisation (pente, adaptation au terrain...) doit être prise en compte lors du dimensionnement)	Impact sur le développement des moisissures (toutes)	3	3		2	6	6	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences		Gravité		Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité fonction nement	Criticité santé	Propositions de solutions
5	Conception	Mauvais choix du design	Difficultés de réalisation (la réalisation (pente, adaptation au terrain...) doit être prise en compte lors du dimensionnement)	Impact sur le développement des bactéries	3	3		2	6	6	
5	Conception	Mauvais choix du design	Difficultés de réalisation (la réalisation (pente, adaptation au terrain...) doit être prise en compte lors du dimensionnement)	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant du sol	3	3		2	6	6	
5	Conception	Mauvais choix du design	Difficultés de réalisation (la réalisation (pente, adaptation au terrain...) doit être prise en compte lors du dimensionnement)	Impact sur l'humidité de l'air	3	3		2	6	6	
5	Conception	Mauvais choix du design	Difficultés de réalisation (la réalisation (pente, adaptation au terrain...) doit être prise en compte lors du dimensionnement)	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant des matériaux	3	3		2	6	6	
5	Conception	Mauvais choix du design	Difficultés de réalisation (la réalisation (pente, adaptation au terrain...) doit être prise en compte lors du dimensionnement)	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant de l'air extérieur	3	3		2	6	6	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences	Gravité	Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité	Criticité	Propositions de
------	-------	--------	--------------	---------	---------------------------	-----------	-----------	-----------	-----------------

						probabilité		fonctionnement	santé	solutions	
5	Conception	Mauvais choix du design	Difficultés de réalisation (la réalisation (pente, adaptation au terrain...) doit être prise en compte lors du dimensionnement)	Impact sur l'accumulation de particules (toutes)	3	3		2	6	6	
5	Dimensionnement	Mauvais dimensionnement du puits (prise d'air, conduits, regards...)	Impact sur l'humidité de l'air		3	3		2	6	6	
5	Dimensionnement	Mauvais dimensionnement du puits (prise d'air, conduits, regards...)	Impact sur l'accumulation de particules (provenant de l'air extérieur)		3	3		2	6	6	
5	Dimensionnement	Mauvais dimensionnement du puits (prise d'air, conduits, regards...)	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant des matériaux		3	3		2	6	6	
5	Dimensionnement	Mauvais dimensionnement du puits (prise d'air, conduits, regards...)		Impact sur le développement des moisissures (toutes)	3	3		2	6	6	
5	Dimensionnement	Mauvais dimensionnement du puits (prise d'air, conduits, regards...)		Impact sur le développement des bactéries (toutes)	3	3		2	6	6	
5	Dimensionnement	Mauvais dimensionnement du puits (prise d'air, conduits, regards...)		Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant de l'air extérieur	3	3		2	6	6	
5	Entretien/utilisation	Mauvais entretien des conduits	Détérioration des surfaces	Impact sur le développement des moisissures (toutes)	3	3		2	6	6	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences	Gravité	Fréquence/	Détection	Criticité	Criticité	Propositions de
------	-------	--------	--------------	---------	------------	-----------	-----------	-----------	-----------------

							probabilité		fonctionnement	santé	solutions
5	Entretien/utilisation	Mauvais entretien des conduits	Détérioration des surfaces	Impact sur le développement des bactéries (toutes)	3	3		2	6	6	
5	Entretien/utilisation	Mauvais entretien des conduits	Détérioration des surfaces	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant du sol (tous)	3	3		2	6	6	
5	Entretien/utilisation	Mauvais entretien des conduits	Détérioration des surfaces	Impact sur l'humidité de l'air	3	3		2	6	6	
5	Entretien/utilisation	Mauvais entretien des conduits	Détérioration des surfaces	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant des matériaux	3	3		2	6	6	
5	Entretien/utilisation	Mauvais entretien des conduits	Détérioration des surfaces	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant de l'air extérieur	3	3		2	6	6	
5	Entretien/utilisation	Mauvais entretien des conduits	Détérioration des surfaces	Impact sur l'accumulation de particules (toutes)	3	3		2	6	6	
5	Entretien/utilisation	Mauvaise utilisation du puits (durée, continuité...)	Besoins d'entretien	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	2	2		3	6	6	
5	Entretien/utilisation	Mauvaise utilisation du puits (durée, continuité...)	Besoins d'entretien	Impact sur la température de l'air	2	2		3	6	6	
5	Entretien/utilisation	Panne de la pompe	Accumulation d'eau	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	2	2		3	6	6	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences	Gravité	Fréquence/probabilité	Détection	Criticité fonctionnement	Criticité santé	Propositions de solutions
------	-------	--------	--------------	---------	-----------------------	-----------	--------------------------	-----------------	---------------------------

5	Entretien/utilisation	Mauvais entretien de la grille (colmatage, choix, absence)	Colmatage	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	2	2		3	6	6	
5	Entretien/utilisation	panne du ventilateur (non spécifique au puits canadien)	Confinement du puits	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	2	2		3	6	6	
5	Entretien/utilisation	panne du ventilateur (non spécifique au puits canadien)	Confinement du puits	Impact sur la température de l'air	2	2		3	6	6	
5	Mise en œuvre	Mauvaise mise en œuvre (étanchéité des raccords)	Intrusion de sol et contamination possible	Impact sur le développement des moisissures (provenant du sol)	3	3		2	6	6	
5	Mise en œuvre	Mauvaise mise en œuvre (étanchéité des raccords)	Intrusion de sol et contamination possible	Impact sur le développement des bactéries (provenant du sol)	3	3		2	6	6	
5	Mise en œuvre	Mauvaise mise en œuvre (étanchéité des raccords)	Intrusion de sol et contamination possible	Impact sur l'accumulation de particules (provenant du sol)	3	3		2	6	6	
5	Mise en œuvre	Mauvaise mise en œuvre (étanchéité des raccords)	Intrusion de sol et contamination possible	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant du sol	3	3		2	6	6	
5	Mise en œuvre	Mauvaise mise en œuvre (étanchéité des raccords)	Passage de liquides provenant du sol	Impact sur le développement des moisissures (provenant du sol)	3	3		2	6	6	
5	Mise en œuvre	Mauvaise mise en œuvre (étanchéité des raccords)	Passage de liquides provenant du sol	Impact sur le développement des bactéries (provenant du sol)	3	3		2	6	6	
5	Mise en œuvre	Mauvaise mise en œuvre (étanchéité des raccords)	Passage de liquides provenant du sol	Impact sur l'humidité de l'air	3	3		2	6	6	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences		Gravité		Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité fonction nement	Criticité santé	Propositions de solutions
5	Mise en œuvre	Mauvaise mise en œuvre (étanchéité des raccords)	Passage de liquides provenant du sol	Impact sur l'accumulation de particules (provenant du sol)	3	3		2	6	6	
5	Mise en œuvre	Mauvaise mise en œuvre (étanchéité des raccords)	Passage de liquides provenant du sol	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant du sol	3	3		2	6	6	
5	Mise en œuvre	Mauvaise mise en œuvre (raccords puits/système de ventilation)	Défaut d'étanchéité (fissures, espaces vides...) Intrusion d'insectes, particules, polluants...	Impact sur le développement des moisissures (provenant du sol)	3	3		2	6	6	
5	Mise en œuvre	Mauvaise mise en œuvre (raccords puits/système de ventilation)	Défaut d'étanchéité (fissures, espaces vides...) Intrusion d'insectes, particules, polluants...	Impact sur le développement des bactéries (provenant du sol)	3	3		2	6	6	
5	Mise en œuvre	Mauvaise mise en œuvre (raccords puits/système de ventilation)	Défaut d'étanchéité (fissures, espaces vides...) Intrusion d'insectes, particules, polluants...	Impact sur l'humidité de l'air	3	3		2	6	6	
5	Mise en œuvre	Mauvaise mise en œuvre (raccords puits/système de ventilation)	Défaut d'étanchéité (fissures, espaces vides...) Intrusion d'insectes, particules, polluants...	Impact sur l'accumulation de particules (provenant du sol)	3	3		2	6	6	
5	Mise en œuvre	Mauvaise mise en œuvre (raccords puits/système de ventilation)	Défaut d'étanchéité (fissures, espaces vides...) Intrusion d'insectes, particules, polluants...	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant du sol (tous)	3	3		2	6	6	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences		Gravité		Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité fonction nement	Criticité santé	Propositions de solutions
5	Mise en œuvre	Salissures lors de la mise en œuvre	Impact sur le débit de renouvellement de l'air		2	2		3	6	6	
5	Mise en œuvre	Mise en œuvre (pose de l'échangeur)	Endommagement des tubes	Impact sur le développement des moisissures (toutes)	3	3		2	6	6	
5	Mise en œuvre	Mise en œuvre (pose de l'échangeur)	Endommagement des tubes	Impact sur l'humidité de l'air	3	3		2	6	6	
5	Mise en œuvre	Mise en œuvre (pose de l'échangeur)	Endommagement des tubes	Impact sur le développement des bactéries (toutes)	3	3		2	6	6	
5	Mise en œuvre	Mise en œuvre (pose de l'échangeur)	Endommagement des tubes	Impact sur l'accumulation de particules (toutes)	3	3		2	6	6	
5	Mise en œuvre	Mise en œuvre (pose de l'échangeur)	Endommagement des tubes	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant du sol	3	3		2	6	6	
5	Mise en œuvre	Mauvais choix du lieu de stockage	Endommagement des tubes	Impact sur le développement des moisissures (toutes)	3	3		2	6	6	
5	Mise en œuvre	Mauvais choix du lieu de stockage	Endommagement des tubes	Impact sur l'humidité de l'air	3	3		2	6	6	
5	Mise en œuvre	Mauvais choix du lieu de stockage	Endommagement des tubes	Impact sur le développement des bactéries (toutes)	3	3		2	6	6	
5	Mise en œuvre	Mauvais choix du lieu de stockage	Endommagement des tubes	Impact sur l'accumulation de particules (toutes)	3	3		2	6	6	
5	Mise en œuvre	Mauvais choix du lieu de stockage	Endommagement des tubes	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant du sol	3	3		2	6	6	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences		Gravité		Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité fonction- nement	Criticité santé	Propositions de solutions
5	Mise en œuvre	Mauvais choix du moyen de transport	Endommagement des tubes	Impact sur le développement des moisissures (toutes)	3	3		2	6	6	
5	Mise en œuvre	Mauvais choix du moyen de transport	Endommagement des tubes	Impact sur l'humidité de l'air	3	3		2	6	6	
5	Mise en œuvre	Mauvais choix du moyen de transport	Endommagement des tubes	Impact sur le développement des bactéries (toutes)	3	3		2	6	6	
5	Mise en œuvre	Mauvais choix du moyen de transport	Endommagement des tubes	Impact sur l'accumulation de particules (toutes)	3	3		2	6	6	
5	Mise en œuvre	Mauvais choix du moyen de transport	Endommagement des tubes	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant du sol	3	3		2	6	6	
5	Mise en œuvre	Défaut de réalisation de la pente	Accumulation d'eau	Impact sur le développement des moisissures (nécessitant de l'humidité)	3	3		2	6	6	
5	Mise en œuvre	Défaut de réalisation de la pente	Accumulation d'eau	Impact sur le développement des bactéries (nécessitant de l'humidité)	3	3		2	6	6	
5	Mise en œuvre	Défaut de réalisation de la pente	Accumulation d'eau	Impact sur l'humidité de l'air	3	3		2	6	6	
5	Mise en œuvre	Défaut de réalisation de la pente	Accumulation d'eau	Impact sur l'accumulation de particules	3	3		2	6	6	
5	Mise en œuvre	Défaut de réalisation de la pente	Endommagement des tubes	Impact sur le développement des moisissures (toutes)	3	3		2	6	6	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences		Gravité		Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité fonction nement	Criticité santé	Propositions de solutions
5	Mise en œuvre	Défaut de réalisation de la pente	Endommagement des tubes	Impact sur l'humidité de l'air	3	3		2	6	6	
5	Mise en œuvre	Défaut de réalisation de la pente	Endommagement des tubes	Impact sur le développement des bactéries (toutes)	3	3		2	6	6	
5	Mise en œuvre	Défaut de réalisation de la pente	Endommagement des tubes	Impact sur l'accumulation de particules (toutes)	3	3		2	6	6	
5	Mise en œuvre	Défaut de réalisation de la pente	Endommagement des tubes	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant du sol	3	3		2	6	6	
5	Mise en œuvre	Mauvaise installation du siphon	Accumulation d'eau	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	2	2		3	6	6	
5	Mise en œuvre	Mauvaise installation de la pompe	Accumulation d'eau	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	2	2		3	6	6	
5	Mise en œuvre	Mauvaise installation de la pompe	Contamination par les eaux usées	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	2	2		3	6	6	
6	Conception	Mauvais choix des tubes et des raccords	Aspérités internes au niveau des raccords	Impact sur le développement des moisissures (toutes)	2	3		2	4	6	
6	Conception	Mauvais choix des tubes et des raccords	Aspérités internes au niveau des raccords	Impact sur le développement des bactéries (toutes)	2	3		2	4	6	
6	Conception	Mauvais choix des tubes et des raccords	Aspérités internes au niveau des raccords	Impact sur l'humidité de l'air	2	3		2	4	6	
6	Conception	Mauvais choix des tubes et des raccords	Aspérités internes au niveau des raccords	Impact sur l'accumulation de particules (toutes)	2	3		2	4	6	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences		Gravité		Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité fonction nement	Criticité santé	Propositions de solutions
6	Conception	Mauvaise étude environnementale (vents et sources de particules)	Aspiration d'eau, de polluants chimiques et de particules	Impact sur le développement des moisissures (provenant de l'air extérieur)	2	3		2	4	6	
6	Conception	Mauvaise étude environnementale (vents et sources de particules)	Aspiration d'eau, de polluants chimiques et de particules	Impact sur le développement des bactéries (provenant de l'air extérieur)	2	3		2	4	6	
6	Conception	Mauvaise étude environnementale (vents et sources de particules)	Aspiration d'eau, de polluants chimiques et de particules	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant de l'air extérieur	2	3		2	4	6	
6	Conception	Mauvaise étude environnementale (vents et sources de particules)	Aspiration d'eau, de polluants chimiques et de particules	Impact sur l'humidité de l'air	2	3		2	4	6	
6	Conception	Mauvaise étude environnementale (vents et sources de particules)	Aspiration d'eau, de polluants chimiques et de particules	Impact sur l'accumulation de particules (provenant de l'air extérieur)	2	3		2	4	6	
6	Conception	Mauvaise étude environnementale (hydrogéologie)	Drainage possible de sol et de polluants solides du sol	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant du sol (polluants solides ou adsorbés)	2	3		2	4	6	
6	Conception	Mauvaise étude environnementale (hydrogéologie)	Drainage possible de sol et de polluants solides du sol	Impact sur l'accumulation de particules (provenant du sol)	2	3		2	4	6	
6	Conception	Mauvais choix du système d'évacuation des condensats	Accumulation d'eau dans le puits	Impact sur le développement des moisissures (nécessitant de l'humidité)	2	3		2	4	6	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences		Gravité		Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité fonction nement	Criticité santé	Propositions de solutions
6	Conception	Mauvais choix du système d'évacuation des condensats	Accumulation d'eau dans le puits	Impact sur le développement des bactéries (nécessitant de l'humidité)	2	3		2	4	6	
6	Conception	Mauvais choix du système d'évacuation des condensats	Accumulation d'eau dans le puits	Impact sur l'humidité de l'air	2	3		2	4	6	
6	Conception	Mauvais choix du système d'évacuation des condensats	Accumulation d'eau dans le puits	Impact sur l'accumulation de particules	2	3		2	4	6	
6	Conception	Mauvais choix du système d'évacuation des condensats	Panne de la pompe	Impact sur le développement des moisissures (nécessitant de l'humidité)	2	3		2	4	6	
6	Conception	Mauvais choix du système d'évacuation des condensats	Panne de la pompe	Impact sur l'humidité de l'air	2	3		2	4	6	
6	Conception	Mauvais choix du système d'évacuation des condensats	Panne de la pompe	Impact sur le développement des bactéries (nécessitant de l'humidité)	2	3		2	4	6	
6	Conception	Mauvais choix du système d'évacuation des condensats	Panne de la pompe	Impact sur l'accumulation de particules	2	3		2	4	6	
6	Conception	Mauvais choix du système d'évacuation des condensats	Colmatage du puits d'infiltration	Impact sur le développement des moisissures (nécessitant de l'humidité)	2	3		2	4	6	
6	Conception	Mauvais choix du système d'évacuation des condensats	Colmatage du puits d'infiltration	Impact sur le développement des bactéries (nécessitant de l'humidité)	2	3		2	4	6	
6	Conception	Mauvais choix du système d'évacuation des condensats	Colmatage du puits d'infiltration	Impact sur l'humidité de l'air	2	3		2	4	6	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences		Gravité		Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité fonction nement	Criticité santé	Propositions de solutions
------	-------	--------	--------------	--	---------	--	---------------------------	-----------	---------------------------------	--------------------	------------------------------

6	Conception	Mauvais choix du système d'évacuation des condensats	Colmatage du puits d'infiltration	Impact sur l'accumulation de particules	2	3		2	4	6	
6	Conception	Mauvais choix du système d'évacuation des condensats	Intrusion d'eaux usées (mauvais raccordement de la pompe)	Impact sur le développement des moisissures (nécessitant de l'humidité)	2	3		2	4	6	
6	Conception	Mauvais choix du système d'évacuation des condensats	Intrusion d'eaux usées (mauvais raccordement de la pompe)	Impact sur l'humidité de l'air	2	3		2	4	6	
6	Conception	Mauvais choix du système d'évacuation des condensats	Intrusion d'eaux usées (mauvais raccordement de la pompe)	Impact sur le développement des bactéries (nécessitant de l'humidité et surtout bactéries provenant des eaux usées)	2	3		2	4	6	
6	Conception	Mauvais choix du filtre (matériau, taille de coupure, taille de surface, résistance...)	Intrusion de polluants solides	Impact sur le développement des moisissures (provenant de l'air extérieur)	2	3		2	4	6	
6	Conception	Mauvais choix du filtre (matériau, taille de coupure, taille de surface, résistance...)	Intrusion de polluants solides	Impact sur le développement des bactéries (provenant de l'air extérieur)	2	3		2	4	6	
6	Conception	Mauvais choix du filtre (matériau, taille de coupure, taille de surface, résistance...)	Intrusion de polluants solides	Impact sur l'accumulation de particules (provenant de l'air extérieur)	2	3		2	4	6	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences		Gravité		Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité fonction nement	Criticité santé	Propositions de solutions
6	Conception	Mauvais choix du filtre (matériau, taille de coupure, taille de surface, résistance...)	Support pour les micro-organismes	Impact sur le développement des moisissures (provenant de l'air extérieur)	2	3		2	4	6	
6	Conception	Mauvais choix du filtre (matériau, taille de coupure, taille de surface, résistance...)	Support pour les micro-organismes	Impact sur le développement des bactéries (provenant de l'air extérieur)	2	3		2	4	6	
6	Conception	Mauvais choix du filtre (matériau, taille de coupure, taille de surface, résistance...)	Colmatage	Impact sur le développement des moisissures (provenant de l'air extérieur)	2	3		2	4	6	
6	Conception	Mauvais choix du filtre (matériau, taille de coupure, taille de surface, résistance...)	Colmatage	Impact sur le développement des bactéries (provenant de l'air extérieur)	2	3		2	4	6	
6	Conception	Mauvais choix du filtre (matériau, taille de coupure, taille de surface, résistance...)	Rupture du filtre	Impact sur le développement des moisissures (provenant de l'air extérieur)	2	3		2	4	6	
6	Conception	Mauvais choix du filtre (matériau, taille de coupure, taille de surface, résistance...)	Rupture du filtre	Impact sur le développement des bactéries (provenant de l'air extérieur)	2	3		2	4	6	
6	Conception	Mauvais choix du filtre (matériau, taille de coupure, taille de surface, résistance...)	Rupture du filtre	Impact sur l'accumulation de particules (provenant de l'air extérieur)	2	3		2	4	6	
6	Conception	anciennes activités ou infrastructures polluantes sur le site	Pollution des sols	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant du sol	2	3		2	4	6	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences		Gravité		Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité fonction nement	Criticité santé	Propositions de solutions
6	Dimensionnement	Mauvaise étude géothermique	Risque de condensation	Impact sur l'humidité de l'air	2	3		2	4	6	
6	Dimensionnement	Mauvaise étude géothermique	Risque de condensation	Impact sur le développement des moisissures (nécessitant de l'humidité)	2	3		2	4	6	
6	Dimensionnement	Mauvaise étude géothermique	Risque de condensation	Impact sur le développement des bactéries (nécessitant de l'humidité)	2	3		2	4	6	
6	Dimensionnement	Mauvaise étude géothermique	Risque de condensation	Impact sur l'accumulation de particules	2	3		2	4	6	
6	Entretien/utilisation	Mauvais entretien des conduits	Encrassement	Impact sur le développement des moisissures (toutes)	2	3		2	4	6	
6	Entretien/utilisation	Mauvais entretien des conduits	Encrassement	Impact sur le développement des bactéries (toutes)	2	3		2	4	6	
6	Entretien/utilisation	Mauvais entretien des conduits	Encrassement	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant du sol (tous)	2	3		2	4	6	
6	Entretien/utilisation	Mauvais entretien des conduits	Encrassement	Impact sur l'humidité de l'air	2	3		2	4	6	
6	Entretien/utilisation	Mauvais entretien des conduits	Encrassement	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant des matériaux	2	3		2	4	6	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences		Gravité		Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité fonction nement	Criticité santé	Propositions de solutions
6	Entretien/utilisation	Mauvais entretien des conduits	Encrassement	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant de l'air extérieur	2	3		2	4	6	
6	Entretien/utilisation	Mauvais entretien des conduits	Encrassement	Impact sur l'accumulation de particules (toutes)	2	3		2	4	6	
6	Entretien/utilisation	Mauvais entretien des conduits	Prolifération microbologique	Impact sur le développement des moisissures (toutes)	2	3		2	4	6	
6	Entretien/utilisation	Mauvais entretien des conduits	Prolifération microbologique	Impact sur le développement des bactéries (toutes)	2	3		2	4	6	
6	Entretien/utilisation	Mauvais entretien du filtre (absence, détérioration...)	Intrusion de polluants	Impact sur le développement des moisissures (provenant de l'air extérieur)	2	3		2	4	6	
6	Entretien/utilisation	Mauvais entretien du filtre (absence, détérioration...)	Intrusion de polluants	Impact sur le développement des bactéries (provenant de l'air extérieur)	2	3		2	4	6	
6	Entretien/utilisation	Mauvais entretien du filtre (absence, détérioration...)	Intrusion de polluants	Impact sur l'accumulation de particules (provenant de l'air extérieur)	2	3		2	4	6	
6	Entretien/utilisation	Mauvais entretien du filtre (absence, détérioration...)	Intrusion de polluants	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant de l'air extérieur	2	3		2	4	6	
6	Entretien/utilisation	Mauvais entretien du filtre (absence, détérioration...)	Intrusion de polluants	Impact sur l'humidité de l'air	2	3		2	4	6	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences		Gravité		Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité fonction nement	Criticité santé	Propositions de solutions
6	Entretien/utilisation	Mauvais entretien du filtre (absence, détérioration...)	Rupture du filtre	Impact sur le développement des moisissures (provenant de l'air extérieur)	2	3		2	4	6	
6	Entretien/utilisation	Mauvais entretien du filtre (absence, détérioration...)	Rupture du filtre	Impact sur le développement des bactéries (provenant de l'air extérieur)	2	3		2	4	6	
6	Entretien/utilisation	Mauvais entretien du filtre (absence, détérioration...)	Rupture du filtre	Impact sur l'accumulation de particules (provenant de l'air extérieur)	2	3		2	4	6	
6	Entretien/utilisation	Mauvais entretien du filtre (absence, détérioration...)	Rupture du filtre	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant de l'air extérieur	2	3		2	4	6	
6	Entretien/utilisation	Mauvais entretien du filtre (absence, détérioration...)	Rupture du filtre	Impact sur l'humidité de l'air	2	3		2	4	6	
6	Entretien/utilisation	Mauvaise utilisation du by-pass	Confinement du puits	Impact sur le développement des moisissures (toutes)	2	3		2	4	6	
6	Entretien/utilisation	Mauvaise utilisation du by-pass	Confinement du puits	Impact sur le développement des bactéries (toutes)	2	3		2	4	6	
6	Entretien/utilisation	Mauvaise utilisation du by-pass	Confinement du puits	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant du sol (tous)	2	3		2	4	6	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences		Gravité		Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité fonction	Criticité santé	Propositions de solutions
------	-------	--------	--------------	--	---------	--	---------------------------	-----------	-----------------------	--------------------	------------------------------

								<b>nement</b>			
6	Entretien/utilisation	Mauvaise utilisation du by-pass	Confinement du puits	Impact sur l'humidité de l'air	2	3		2	4	6	
6	Entretien/utilisation	Mauvaise utilisation du by-pass	Confinement du puits	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant des matériaux	2	3		2	4	6	
6	Mise en œuvre	Défaut dans l'installation de la prise d'air	Intrusion d'eau de pluie	Impact sur le développement des moisissures (nécessitant de l'humidité)	2	3		2	4	6	
6	Mise en œuvre	Défaut dans l'installation de la prise d'air	Intrusion d'eau de pluie	Impact sur le développement des bactéries (nécessitant de l'humidité)	2	3		2	4	6	
6	Mise en œuvre	Défaut dans l'installation de la prise d'air	Intrusion d'eau de pluie	Impact sur l'humidité de l'air	2	3		2	4	6	
6	Mise en œuvre	Défaut dans l'installation de la prise d'air	Intrusion d'eau de pluie	Impact sur l'accumulation de particules	2	3		2	4	6	
6	Mise en œuvre	Défaut dans l'installation de la prise d'air	Aspiration de polluants et particules	Impact sur le développement des moisissures (provenant de l'air extérieur)	2	3		2	4	6	
6	Mise en œuvre	Défaut dans l'installation de la prise d'air	Aspiration de polluants et particules	Impact sur le développement des bactéries (provenant de l'air extérieur)	2	3		2	4	6	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences		Gravité		Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité fonction nement	Criticité santé	Propositions de solutions
8	Conception	Problèmes au niveau du ventilateur	Vitesse de circulation de l'air importante	Impact sur le développement des moisissures (toutes)	1	3		2	2	6	
8	Conception	Problèmes au niveau du ventilateur	Vitesse de circulation de l'air importante	Impact sur le développement des bactéries (toutes)	1	3		2	2	6	
8	Conception	Problèmes au niveau du ventilateur	Vitesse de circulation de l'air importante	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant du sol	1	3		2	2	6	
8	Conception	Problèmes au niveau du ventilateur	Vitesse de circulation de l'air importante	Impact sur l'humidité de l'air	1	3		2	2	6	
8	Conception	Problèmes au niveau du ventilateur	Vitesse de circulation de l'air importante	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant des matériaux	1	3		2	2	6	
8	Conception	Problèmes au niveau du ventilateur	Vitesse de circulation de l'air importante	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant de l'air extérieur	1	3		2	2	6	
8	Conception	Problèmes au niveau du ventilateur	Vitesse de circulation de l'air importante	Impact sur l'accumulation de particules (toutes)	1	3		2	2	6	
8	Conception	Problèmes au niveau du ventilateur	Vitesse de circulation de l'air peu importante	Impact sur le développement des moisissures (toutes)	1	3		2	2	6	
8	Conception	Problèmes au niveau du ventilateur	Vitesse de circulation de l'air peu importante	Impact sur le développement des bactéries (toutes)	1	3		2	2	6	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences		Gravité		Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité fonctionnement	Criticité santé	Propositions de solutions
6	Mise en œuvre	Défaut dans l'installation de la prise d'air	Aspiration de polluants et particules	Impact sur l'accumulation de particules (provenant de l'air extérieur)	2	3		2	4	6	
6	Mise en œuvre	Défaut de réalisation du massif de gravier	Accumulation d'eau	Impact sur le développement des moisissures (nécessitant de l'humidité)	2	3		2	4	6	
6	Mise en œuvre	Défaut de réalisation du massif de gravier	Accumulation d'eau	Impact sur le développement des bactéries (nécessitant de l'humidité)	2	3		2	4	6	
6	Mise en œuvre	Défaut de réalisation du massif de gravier	Accumulation d'eau	Impact sur l'humidité de l'air	2	3		2	4	6	
6	Mise en œuvre	Défaut de réalisation du massif de gravier	Accumulation d'eau	Impact sur l'accumulation de particules	2	3		2	4	6	
7	Entretien/utilisation	Mauvaise utilisation du puits (durée, continuité...)	Confinement du puits	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	1	2		3	3	6	
7	Entretien/utilisation	Mauvaise utilisation du puits (durée, continuité...)	Confinement du puits	Impact sur la température de l'air	1	2		3	3	6	
7	Mise en œuvre	Absence de protection durant transport, stockage et chantier	Contamination par des polluants	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	1	2		3	3	6	
8	Conception	Mauvais choix des tubes et des raccords	Relargage de polluant chimique par le matériau (raccords et tubes)	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant des matériaux	1	3		2	2	6	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences		Gravité		Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité fonction nement	Criticité santé	Propositions de solutions
8	Conception	Mauvaise étude environnementale (hydrogéologie)	Transport de polluants solubles depuis l'amont	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant du sol (polluants liquides solubles)	1	3		2	2	6	
8	Conception	Problèmes au niveau du ventilateur	Vitesse de circulation de l'air peu importante	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant du sol	1	3		2	2	6	
8	Conception	Problèmes au niveau du ventilateur	Vitesse de circulation de l'air peu importante	Impact sur l'humidité de l'air	1	3		2	2	6	
8	Conception	Problèmes au niveau du ventilateur	Vitesse de circulation de l'air peu importante	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant des matériaux	1	3		2	2	6	
8	Conception	Problèmes au niveau du ventilateur	Vitesse de circulation de l'air peu importante	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant de l'air extérieur	1	3		2	2	6	
8	Conception	Problèmes au niveau du ventilateur	Vitesse de circulation de l'air peu importante	Impact sur l'accumulation de particules (toutes)	1	3		2	2	6	
8	Conception	Mauvais choix du filtre (matériau, taille de coupure, taille de surface, résistance...)	Rélargie de polluant chimique par le matériau	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant des matériaux	1	3		2	2	6	
8	Dimensionnement	Vitesse du ventilateur inadaptée	Impact sur le développement des moisissures (toutes)		1	3		2	2	6	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences		Gravité		Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité fonction nement	Criticité santé	Propositions de solutions
8	Dimensionnement	Vitesse du ventilateur inadaptée	Impact sur le développement des bactéries (toutes)		1	3		2	2	6	
8	Dimensionnement	Vitesse du ventilateur inadaptée	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant du sol (tous)		1	3		2	2	6	
8	Dimensionnement	Vitesse du ventilateur inadaptée	Impact sur l'humidité de l'air		1	3		2	2	6	
8	Dimensionnement	Vitesse du ventilateur inadaptée	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant des matériaux		1	3		2	2	6	
8	Dimensionnement	Vitesse du ventilateur inadaptée	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant de l'air extérieur		1	3		2	2	6	
8	Dimensionnement	Vitesse du ventilateur inadaptée	Impact sur l'accumulation de particules (toutes)		1	3		2	2	6	
8	Entretien/utilisation	Mauvais entretien du filtre (absence, détérioration...)	Colmatage	Impact sur le développement des moisissures (provenant de l'air extérieur)	1	3		2	2	6	
8	Entretien/utilisation	Mauvais entretien du filtre (absence, détérioration...)	Colmatage	Impact sur le développement des bactéries (provenant de l'air extérieur)	1	3		2	2	6	
8	Mise en œuvre	Mauvaise mise en œuvre (étanchéité des raccords)	passage des gaz du sol	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant du sol	1	3		2	2	6	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences	Gravité	Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité	Criticité	Propositions de
------	-------	--------	--------------	---------	---------------------------	-----------	-----------	-----------	-----------------

						probabilité		fonctionnement	santé	solutions	
9	Conception	Mauvaise étude environnementale (identification des obstacles)	Endommagement des tubes	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	3	2		2	6	4	
9	Conception	Mauvaise étude environnementale (identification des obstacles)	Endommagement des tubes	Impact sur la température de l'air	3	2		2	6	4	
9	Conception	Mauvaise étude environnementale (géotechnique)	Rupture de pente	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	3	2		2	6	4	
9	Conception	Mauvaise étude environnementale (géotechnique)	Endommagement des tubes	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	3	2		2	6	4	
9	Conception	Mauvaise étude environnementale (géotechnique)	Endommagement des tubes	Impact sur la température de l'air	3	2		2	6	4	
9	Conception	Mauvais choix des tubes et des raccords	Mauvaise étanchéité	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	3	2		2	6	4	
9	Conception	Mauvais choix des tubes et des raccords	Mauvaise étanchéité	Impact sur la température de l'air	3	2		2	6	4	
9	Conception	Mauvais choix des tubes et des raccords	Endommagement des tubes (incompatibilité entre raccords et tubes)	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	3	2		2	6	4	
9	Conception	Mauvais choix des tubes et des raccords	Endommagement des tubes (incompatibilité entre raccords et tubes)	Impact sur la température de l'air	3	2		2	6	4	
9	Conception	Mauvaise étude environnementale (hydrogéologie)	Intrusion possible de grande quantités d'eau (pouvant aller jusqu'à noyer le puits)	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	3	2		2	6	4	
9	Conception	Mauvais choix du système d'évacuation des condensats	Remontée d'eau et de polluant par le puits d'infiltration	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	3	2		2	6	4	
9	Conception	Mauvais dimensionnement de la pente	Accumulation d'eau dans le puits	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	3	2		2	6	4	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences		Gravité		Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité fonctionnement	Criticité santé	Propositions de solutions
9	Conception	Mauvais choix du design	Pertes de charge	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	3	2		2	6	4	
9	Conception	Mauvais choix du design	Difficultés de réalisation (la réalisation (pente, adaptation au terrain...) doit être prise en compte lors du dimensionnement)	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	3	2		2	6	4	
9	Conception	Mauvais choix du design	Difficultés de réalisation (la réalisation (pente, adaptation au terrain...) doit être prise en compte lors du dimensionnement)	Impact sur la température de l'air	3	2		2	6	4	
9	Conception	Mauvais choix du design	Efficacité de l'échange thermique	Impact sur la température de l'air	3	2		2	6	4	
9	Dimensionnement	Mauvais dimensionnement du puits (prise d'air, conduits, regards...)	Impact sur le débit de renouvellement de l'air		3	2		2	6	4	
9	Dimensionnement	Mauvais dimensionnement du puits (prise d'air, conduits, regards...)	Impact sur la température de l'air		3	2		2	6	4	
9	Dimensionnement	Mauvaise étude géothermique	Echanges thermiques insuffisants	Impact sur la température de l'air	3	2		2	6	4	
9	Dimensionnement	Mauvais choix du débit d'air	Impact sur le débit de renouvellement de l'air		3	2		2	6	4	
9	Dimensionnement	Profondeur insuffisante	Échanges thermiques insuffisants	Impact sur la température de l'air	3	2		2	6	4	
9	Entretien/utilisation	Mauvais entretien des conduits	Détérioration des surfaces	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	3	2		2	6	4	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences		Gravité		Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité fonction nement	Criticité santé	Propositions de solutions
9	Entretien/utilisation	Mauvais entretien des conduits	Détérioration des surfaces	Impact sur la température de l'air	3	2		2	6	4	
9	Entretien/utilisation	Mauvais entretien des conduits	Détérioration des surfaces	Impact sur la température de l'air	3	2		2	6	4	
9	Mise en œuvre	Mauvaise mise en œuvre (étanchéité des raccords)	Intrusion de sol et contamination possible	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	3	2		2	6	4	
9	Mise en œuvre	Mauvaise mise en œuvre (étanchéité des raccords)	Passage de liquides provenant du sol	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	3	2		2	6	4	
9	Mise en œuvre	Mauvaise mise en œuvre (raccords puits/système de ventilation)	Défaut d'étanchéité (fissures, espaces vides...) Intrusion d'insectes, particules, polluants	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	3	2		2	6	4	
9	Mise en œuvre	Mise en œuvre (pose de l'échangeur)	Endommagement des tubes	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	3	2		2	6	4	
9	Mise en œuvre	Mise en œuvre (pose de l'échangeur)	Endommagement des tubes	Impact sur la température de l'air	3	2		2	6	4	
9	Mise en œuvre	Mauvais choix du lieu de stockage	Endommagement des tubes	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	3	2		2	6	4	
9	Mise en œuvre	Mauvais choix du lieu de stockage	Endommagement des tubes	Impact sur la température de l'air	3	2		2	6	4	
9	Mise en œuvre	Mauvais choix du moyen de transport	Endommagement des tubes	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	3	2		2	6	4	
9	Mise en œuvre	Mauvais choix du moyen de transport	Endommagement des tubes	Impact sur la température de l'air	3	2		2	6	4	
9	Mise en œuvre	Défaut de réalisation de la pente	Accumulation d'eau	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	3	2		2	6	4	
9	Mise en œuvre	Défaut de réalisation de la pente	Endommagement des tubes	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	3	2		2	6	4	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences		Gravité		Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité fonction nement	Criticité santé	Propositions de solutions
9	Mise en œuvre	Défaut de réalisation de la pente	Endommagement des tubes	Impact sur la température de l'air	3	2		2	6	4	
10	Conception	Mauvais choix des tubes et des raccords	Aspérités internes au niveau des raccords	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	2	2		2	4	4	
10	Conception	Mauvaise étude environnementale (vents et sources de particules)	Aspiration d'eau, de polluants chimiques et de particules	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	2	2		2	4	4	
10	Conception	Mauvais choix du système d'évacuation des condensats	Accumulation d'eau dans le puits	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	2	2		2	4	4	
10	Conception	Mauvais choix du système d'évacuation des condensats	Panne de la pompe	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	2	2		2	4	4	
10	Conception	Mauvais choix du système d'évacuation des condensats	Colmatage du puits d'infiltration	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	2	2		2	4	4	
10	Conception	Mauvais choix du système d'évacuation des condensats	Intrusion d'eaux usées (mauvais raccordement de la pompe)	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	2	2		2	4	4	
10	Conception	Mauvais choix du filtre (matériau, taille de coupure, taille de surface, résistance...)	Intrusion de polluants solides	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	2	2		2	4	4	
10	Conception	Mauvais choix du filtre (matériau, taille de coupure, taille de surface, résistance...)	Colmatage	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	2	2		2	4	4	
10	Conception	Mauvais choix du filtre (matériau, taille de coupure, taille de surface, résistance...)	Rupture du filtre	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	2	2		2	4	4	
10	Dimensionnement	Mauvaise étude géothermique	Risque de condensation	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	2	2		2	4	4	
10	Entretien/utilisation	Mauvais entretien des conduits	Encrassement	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	2	2		2	4	4	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences		Gravité		Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité fonction nement	Criticité santé	Propositions de solutions
10	Entretien/utilisation	Mauvais entretien des conduits	Encrassement	Impact sur la température de l'air	2	2		2	4	4	
10	Entretien/utilisation	Mauvaise utilisation du by-pass	Impact sur la température de l'air	Impacts énergétiques	2	2		2	4	4	
10	Entretien/utilisation	Mauvaise utilisation du by-pass	Confinement du puits	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	2	2		2	4	4	
10	Entretien/utilisation	Mauvaise utilisation du by-pass	Confinement du puits	Impact sur la température de l'air	2	2		2	4	4	
10	Mise en œuvre	Défaut dans l'installation de la prise d'air	Intrusion d'eau de pluie	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	2	2		2	4	4	
10	Mise en œuvre	Défaut dans l'installation de la prise d'air	Aspiration de polluants et particules	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	2	2		2	4	4	
10	Mise en œuvre	Défaut dans l'installation de la prise d'air	Résistance insuffisante aux intempéries	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	2	2		2	4	4	
10	Mise en œuvre	Défaut dans l'installation de la prise d'air	Mauvaise entrée de l'air	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	2	2		2	4	4	
10	Mise en œuvre	Défaut dans l'installation de la prise d'air	Obstruction	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	2	2		2	4	4	
10	Mise en œuvre	Défaut de réalisation du massif de gravier	Accumulation d'eau	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	2	2		2	4	4	
11	Conception	Problèmes au niveau du ventilateur	Vitesse de circulation de l'air importante	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	1	2		2	2	4	
11	Conception	Problèmes au niveau du ventilateur	Vitesse de circulation de l'air importante	Impact sur la température de l'air	1	2		2	2	4	
11	Conception	Problèmes au niveau du ventilateur	Vitesse de circulation de l'air peu importante	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	1	2		2	2	4	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences		Gravité		Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité fonction nement	Criticité santé	Propositions de solutions
11	Conception	Problèmes au niveau du ventilateur	Vitesse de circulation de l'air peu importante	Impact sur la température de l'air	1	2		2	2	4	
11	Conception	Mauvais choix du filtre (matériau, taille de coupure, taille de surface, résistance...)	Relargage de fibres par le matériau	Impact sur les particules	1	2		2	2	4	
11	Dimensionnement	Vitesse du ventilateur inadaptée	Impact sur le débit de renouvellement de l'air		1	2		2	2	4	
11	Dimensionnement	Vitesse du ventilateur inadaptée	Impact sur la température de l'air		1	2		2	2	4	
11	Entretien/utilisation	Mauvais entretien du filtre (absence, détérioration...)	Colmatage	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	1	2		2	2	4	
12	Dimensionnement	Mauvais dimensionnement du système d'évacuation des condensats (pompes, puits d'infiltration ou siphon)	Accumulation d'eau dans le puits	Impact sur le développement des moisissures (nécessitant de l'humidité)	3	3		1	3	3	
12	Dimensionnement	Mauvais dimensionnement du système d'évacuation des condensats (pompes, puits d'infiltration ou siphon)	Accumulation d'eau dans le puits	Impact sur le développement des bactéries (nécessitant de l'humidité)	3	3		1	3	3	
12	Mise en œuvre	Mauvaise stabilisation des sols (compactage)	Endommagement des tubes	Impact sur le développement des moisissures (provenant du sol)	3	3		1	3	3	
12	Mise en œuvre	Mauvaise stabilisation des sols (compactage)	Endommagement des tubes	Impact sur l'humidité de l'air	3	3		1	3	3	
12	Mise en œuvre	Mauvaise stabilisation des sols (compactage)	Endommagement des tubes	Impact sur le développement des bactéries (provenant du sol)	3	3		1	3	3	
12	Mise en œuvre	Mauvaise stabilisation des sols (compactage)	Endommagement des tubes	Impact sur l'accumulation de particules (provenant du sol)	3	3		1	3	3	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences		Gravité		Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité fonction nement	Criticité santé	Propositions de solutions
12	Mise en œuvre	Mauvaise stabilisation des sols (compactage)	Endommagement des tubes	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant du sol	3	3		1	3	3	
12	Mise en œuvre	Mauvais contrôle de l'état des tubes		Impact sur le développement des moisissures (toutes)	3	3		1	3	3	
12	Mise en œuvre	Mauvais contrôle de l'état des tubes		Impact sur l'humidité de l'air	3	3		1	3	3	
12	Mise en œuvre	Mauvais contrôle de l'état des tubes		Impact sur le développement des bactéries (toutes)	3	3		1	3	3	
12	Mise en œuvre	Mauvais contrôle de l'état des tubes		Impact sur l'accumulation de particules (toutes)	3	3		1	3	3	
12	Mise en œuvre	Mauvais contrôle de l'état des tubes		Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant du sol	3	3		1	3	3	
12	Mise en œuvre	Mauvais contrôle de l'état des tubes		Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant du matériau	3	3		1	3	3	
12	Mise en œuvre	Mauvais déblaiement		Endommagement des tubes	Impact sur le développement des moisissures (toutes)	3	3		1	3	3
12	Mise en œuvre	Mauvais déblaiement	Endommagement des tubes	Impact sur l'humidité de l'air	3	3		1	3	3	
12	Mise en œuvre	Mauvais déblaiement	Endommagement des tubes	Impact sur le développement des bactéries (toutes)	3	3		1	3	3	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences		Gravité		Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité fonction nement	Criticité santé	Propositions de solutions
12	Mise en œuvre	Mauvais déblaiement	Endommagement des tubes	Impact sur l'accumulation de particules (toutes)	3	3		1	3	3	
12	Mise en œuvre	Mauvais déblaiement	Endommagement des tubes	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant du sol	3	3		1	3	3	
13	Conception	activité ou infrastructure polluantes en amont du site	Pollution des sols	Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant du sol	1	3		1	1	3	
13	Dimensionnement	Mauvais dimensionnement du système d'évacuation des condensats (pompes, puits d'infiltration ou siphon)		Impact sur l'accumulation de polluants chimiques provenant du sol (tous) dans le cas du puits d'infiltration	1	3		1	1	3	
14	Mise en œuvre	Mauvaise stabilisation des sols (compactage)	Endommagement des tubes	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	3	2		1	3	2	
14	Mise en œuvre	Mauvaise stabilisation des sols (compactage)	Endommagement des tubes	Impact sur la température de l'air	3	2		1	3	2	
14	Mise en œuvre	Mauvais contrôle de l'état des tubes		Impact sur la température de l'air	3	2		1	3	2	
14	Mise en œuvre	Mauvais contrôle de l'état des tubes		Impact sur le débit de renouvellement de l'air	3	2		1	3	2	
14	Mise en œuvre	Mauvais déblaiement	Endommagement des tubes	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	3	2		1	3	2	
14	Mise en œuvre	Mauvais déblaiement	Endommagement des tubes	Impact sur la température de l'air	3	2		1	3	2	
15	Conception	Problèmes au niveau du ventilateur	Consommation énergétique		1	1		2	2	2	

Rang	Phase	Défaut	Conséquences		Gravité		Fréquence/ probabilité	Détection	Criticité fonction nement	Criticité santé	Propositions de solutions
16	Conception	activité ou infrastructure polluantes en amont du site	Pollution de l'air	Impact sur le débit de renouvellement de l'air	1	2		1	1	2	
17	Conception	Problèmes au niveau du ventilateur	Bruit	Impact sur la santé	1	0		2	2	0	
17	Conception	Problèmes au niveau du ventilateur	Bruit	Impact sur le confort	1	0		2	2	0	

## Annexe N : Préconisations en cas de mesures des agents

### 1 Dégradations physiques

Les mesures des dégradations physiques doivent être réalisées parce qu'en plus de leurs propres effets en tant qu'agent de dégradation, elles influencent le comportement des autres agents et dégradent la QAI de l'ensemble du bâtiment et non pas seulement celle en sortie de puits.

#### 1.1 Humidité

##### Conditions de présence

L'humidité peut pénétrer dans le puits par la prise d'entrée d'air ou par les défauts d'étanchéité des conduits.

Dans le premier cas, l'humidité peut être sous forme liquide au moment de son intrusion (pluies, inondations...) ou sous forme vapeur et se condenser ensuite au contact des parois froides de l'échangeur.

Dans le second cas, ce sont surtout des infiltrations liquides qui sont à craindre. L'eau du sol peut s'infiltrer par la porosité du matériau ou par les fissures, perforations, défaut de jointures... éventuelles. Le dernier cas est celui de la remontée d'eau par le puits d'infiltration des condensats dans le cas de la présence d'une nappe libre.

##### Techniques de mesure

L'humidité relative de l'air ou hygrométrie se mesure avec un hygromètre. Il existe différents hygromètres [127] :

- à capteur organique qui mesure la variation de l'élongation d'un cheveu ou d'un crin de cheval en fonction de l'humidité. En réalité, c'est une mèche de cheveux qui est utilisée pour limiter les variations possibles d'un cheveu à l'autre. Les variations de longueur de la mèche de cheveux sont amplifiées par un système de leviers et inscrites sur un diagramme enroulé autour d'un tambour animé d'un mouvement de rotation. La mesure donnée par cet appareil est peu précise : +/- 5% HR.
- à condensation qui est basé sur le point de rosée. Il fonctionne à l'aide d'un petit miroir constamment refroidi. Ce miroir est éclairé par une diode électroluminescente dont le faisceau de lumière incident est réfléchi vers un dispositif de mesure. Lorsque de la buée apparaît, le miroir diffuse la lumière qui impressionne alors un détecteur (phototransistor). Ce détecteur est relié au circuit de régulation de la température et commande alors le réchauffement du miroir. La rosée disparaît et entraîne de nouveau la commande de refroidissement et ainsi de suite. Grâce à un système de régulation approprié, il est possible de maintenir un dépôt constant de condensation sur le miroir et il suffit alors d'enregistrer sa température à l'aide d'un micro capteur thermique, délivrant un signal électrique. Précision : 0.2% HR aux basses températures, puis perd de sa précision à partir de 50-60°C.
- capacitif qui mesure la capacité d'un condensateur constitué d'une lame de polymère hygroscopique sur laquelle sont fixées deux électrodes métalliques poreuses. Lorsque le polymère absorbe l'eau contenue dans l'air, son volume augmente et la distance entre les électrodes s'accroît, ce qui se traduit par une variation de la capacité du condensateur. Le signal mesuré correspond aux variations de fréquence du capteur. Précision : +/- 2% HR.

A priori, une grande précision n'est pas nécessaire pour les impacts étudiés.

Autre technique : psychrométrie.

##### Campagne de mesure

Avant d'effectuer des mesures, un contrôle rapide des regards intermédiaires et du système d'évacuation des condensats peuvent être utiles. Il permet de vérifier que le puits n'est pas noyé et qu'il n'y a pas d'eau stagnante.

Le niveau de la nappe libre superficielle, s'il y en a une doit être étudié, en particulier s'il ne l'a pas été durant l'étude environnementale. Pour cela il faut installer un piézomètre et suivre l'évolution de ce niveau au cours d'une année au moins.

Des mesures doivent être effectuées :

- dans le puits pour évaluer la possibilité d'un développement de micro-organismes.
- en sortie de puits pour l'impact sur la santé et sur la QAI.
- en entrée de puits pour évaluer la part de l'air extérieur.
- dans la pièce où l'air est soufflé (si pas d'autre source d'humidité).

Des mesures en continu seraient l'idéal.

Des mesures dans l'air ambiant avec ou sans puits canadiens pourraient apporter des informations sur l'effet du puits.

## 1.2 Température

### Conditions de présence

La température de l'air soufflé dépend de la température extérieure, de la température du sol, de la qualité des échanges thermiques au niveau de l'échangeur, du temps de séjour et donc de la vitesse du flux d'air. Les effets sanitaires peuvent aussi être liés à la différence de température entre l'air soufflé et l'air ambiant ou entre l'air ambiant modifié par l'air soufflé et l'air extérieur.

### Techniques de mesure

La température se mesure avec un thermomètre.

### Campagne de mesure

Des mesures doivent être effectuées :

- dans le puits pour évaluer la possibilité d'un développement de micro-organismes.
- en sortie de puits pour l'impact sur la santé et sur la QAI.
- en entrée de puits pour évaluer la part de l'air extérieur.
- dans la pièce où l'air est soufflé.

Des mesures en continu seraient l'idéal.

Des mesures dans l'air ambiant avec ou sans puits canadiens pourraient apporter des informations sur l'effet du puits.

Une comparaison de la température de l'air ambiant avec et sans puits canadiens pourrait être intéressante.

## 1.3 Renouvellement d'air

### Conditions de présence

Le renouvellement de l'air peut être insuffisant pour différentes raisons : filtre colmaté, encrassement ou obstruction partiels des conduits par intrusion de particules, poussières, sol ou eau, mauvais dimensionnement du puits ou du ventilateur...

### Techniques de mesure

Il existe des débitmètres qui mesurent la pression, le débit et la vitesse de l'air en sortie de canalisation.

### Campagne de mesure

Les mesures qui pourraient être effectuées sont les suivantes :

- une mesure du débit en sortie de puits pour savoir s'il est suffisant,
- un suivi de la concentration en dioxygène dans la pièce pour évaluer l'impact sur la santé (si pas d'autre source de dioxygène),

- un suivi de la concentration d'un polluant spécifique de l'air intérieur dans l'air pour évaluer si le renouvellement d'air permet l'évacuation des polluants (si pas moyen d'évacuation).

Des mesures en continu seraient l'idéal pour suivre les évolutions de l'obstruction des conduits, du colmatage du filtre et de la grille.

## 1.4 Ionisation de l'air

### Conditions de présence

L'air peut être ionisé lors de son passage dans le puits canadien par son frottement contre les parois des conduits. Aucune donnée ne permet pour l'instant de savoir si ce phénomène se produit ou non.

### Techniques de mesure

Il existe des appareils de comptage d'ion.

### Campagne de mesure

Les mesures à effectuer sont :

- une mesure dans le puits pour savoir si une ionisation se produit,
- une mesure en sortie de puits pour savoir si elle perdure,
- une mesure dans la pièce pour savoir si elle modifie l'ionisation de l'air ambiant.

Des mesures devraient être menées pour chaque matériau en essayant de varier la longueur des conduits et la vitesse de l'air.

Une comparaison à différents niveaux d'encrassement des conduits pourrait être intéressante.

## 2 Agents physiques

### 2.1 Radon

#### Condition de transferts

Le radon est un gaz naturellement présent dans les roches, en particulier les roches du socle telles que le granite. Il s'accumule dans les anfractuosités et la porosité des sols. Il peut s'accumuler autour du puits canadien si l'adhérence entre les tubes et le sol n'est pas parfaite. Il lui est ensuite possible de s'introduire dans l'ouvrage par la porosité du matériau, par les fissures, fractures, perforations... et de contaminer ainsi l'air neuf.

Il peut également provenir du matériau lui-même (pierre, béton, terre cuite...).

#### Techniques de mesures

La concentration peut être mesurée de façon simple à l'aide de dosimètres.

#### Campagne de mesure

Une mesure doit être effectuée en sortie de puits pour évaluer la concentration de radon apportée par l'ouvrage.

Une autre dans la pièce pour s'assurer que le niveau général reste en dessous des valeurs seuils d'exposition.

Elles doivent s'étendre sur plusieurs mois (de septembre à décembre par exemple, mois pendant lesquels la concentration de radon est la plus importante selon l'IRNS [83]) pour tenir compte de la fluctuation naturelle du radon en fonction du climat.

Idéalement il faudrait également tester les matériaux pour s'assurer qu'ils ne sont pas émetteurs de radon.

Une comparaison entre les niveaux d'exposition avec et sans puits canadiens pourrait être intéressante.

## **2.2 PM 10 et PM 2.5**

### Condition de transferts

Les particules peuvent provenir de l'air extérieur ou du sol. Dans le premier cas, elles ne peuvent pénétrer dans le puits canadien qu'en raison d'un défaut de filtration (absence de filtre, maille trop larges, détérioration du filtre...). Leur nature et leur concentration varie en fonction de l'environnement extérieur (climat, type d'occupation des sols...). Elles peuvent se déposer à la surface des conduits et être remise en suspension.

### Techniques de mesures

Il existe plusieurs techniques de mesures de particules selon la mesure désirée.

Il est possible de ne mesurer que la fraction inhalable (MATHE et al., 1998 [102]). Le mode d'échantillonnage détermine la coupure. La concentration en particule est mesurée en réseau en utilisant l'une de ces quatre méthodes : gravimétrie, radiométrie bêta, réflectométrie ou variation de fréquence.

- La gravimétrie consiste à peser les filtres avant et après le passage d'un certain volume d'air. L'écart entre les deux masses correspond à la masse des particules.
- La réflectométrie consiste à éclairer le filtre par de la lumière visible et à mesurer les intensités incidente  $I_0$  et réfléchie  $I$  et à les comparer à une courbe d'étalonnage établie pour un type de papier filtre et un réflectomètre donnés.
- La radiométrie mesure la masse particulaire par atténuation d'un rayonnement bêta. La nature des particules n'a qu'une faible incidence. Cette technique est reconnue équivalente à une mesure pondérale.
- Enfin, la microbalance à variations de fréquence est un système de mesure en continu entièrement informatisé constitué d'une tête de prélèvement, d'une microbalance à élément oscillant, d'une unité de contrôle et de commande et en option d'un accumulateur sur filtres destinés principalement à des analyses différées. Un filtre est installé sur un élément oscillant à une fréquence donnée. Les particules déposées augmentent la masse du système produisant une décroissance de la fréquence de vibration. Cette variation de fréquence est enregistrée en permanence par l'unité de contrôle, elle est ensuite convertie en masse.

La fraction ingérable peut également être estimée:

Le prélèvement des poussières au sol est effectué par essuyage d'une surface d'un dixième de mètre carré à l'aide d'une lingette humidifiée simulant la main. La lingette est passée sur la surface délimitée au moins deux fois, dont la seconde perpendiculairement à la première, et ce, en utilisant au fur et à mesure chaque face de la lingette afin de recueillir le maximum de poussière.

### Campagne de mesure

Les poussières peuvent être assimilées par inhalation ou ingestion.

Les mesures de particules dans l'air doit être effectuée en entrée et en sortie de puits canadien afin d'évaluer l'impact du puits.

La mesure de la fraction ingérable doit être effectuée dans la pièce où l'air est soufflé, sur une surface à proximité de la bouche de soufflage qui soit si possible accessible aux enfants qui sont les plus susceptibles d'ingérer les poussières en portant les mains à la bouche.

Elle doit être réalisée à différents moments de la journée et de l'année pour tenir compte des variations de l'air extérieur.

Il serait aussi intéressant de faire des mesures au moment du redémarrage du ventilateur après des périodes d'interruption plus ou moins longues pour évaluer son impact sur la remise en suspension de particules déposées dans le puits.

## 2.3 Amiante naturelle

### Condition de transferts

Les fibres d'amiante peuvent provenir du sol et peuvent se retrouver dans le puits canadien en cas de défaut de filtration ou en cas de défaut d'étanchéité des tubes. En effet lorsque la roche est à l'affleurement, le vent peut soulever des fibres et le porter jusqu'à la prise d'air. Sinon les fibres peuvent être aspirées ou drainées dans le tube depuis le sol.

### Techniques de mesures

Plusieurs techniques de mesures sont utilisées :

- La microscopie optique en lumière polarisée ou avec contraste de phase permet de dénombrer les fibres retenues par un filtre. Le principal inconvénient est qu'elle ne permet pas de faire la différence entre les fibres d'amiante et d'autres fibres.
- La microscopie électronique à transmission est la méthode de référence. Elle permet de voir les fibres d'amiante des plus fines et peut être couplée à des techniques d'analyse physico-chimique (cristallographie par diffraction et spectrométrie dispersive en énergie des rayons X) permettant de confirmer la nature des fibres.
- La microscopie électronique à balayage permet d'observer la forme et la surface des fibres. Elle nécessite pour faire la différence entre les fibres d'amiante et les autres fibres d'être couplée avec des techniques d'analyse physico-chimique qui sont moins précises que celles couplées au microscope à transmission.
- La mesure de l'empoussièrément fondée sur l'exploration d'un échantillon par un rayon laser permet une mesure en continu de l'empoussièrément mais ne permet pas la distinction de l'amiante. Elle doit être utilisée en complément d'autres techniques permettant l'analyse de la poussière.

### Campagne de mesure

L'amiante ne doit être recherchée que dans les zones d'affleurement (plutôt rares en France).

Il faut des mesures en entrée de puits et en sortie de puits pour connaître la contribution du puits canadien et des mesures dans l'air ambiant pour estimer les niveaux d'exposition globaux.

Une comparaison entre les niveaux d'exposition avec et sans puits canadiens pourrait être intéressante.

Une mesure à la remise en fonctionnement après une interruption plus ou moins longue pourrait permettre d'estimer son accumulation dans le puits.

## 3 Agents chimiques

### 3.1 Métaux: Plomb, Arsenic, Cadmium, Cuivre, Zinc, Nickel et autres métaux

#### Condition de transferts

Les métaux sont généralement adsorbés sur des particules. Ils ne peuvent pénétrer dans le puits puis dans l'air intérieur qu'avec leur support.

#### Techniques de mesures

Extraction à partir des échantillons de particules quelque soit le système d'échantillonnage. La méthode de mesure suit la norme NF X 43-275 : Qualité de l'air - Air des lieux de travail – Dosage d'éléments présents dans l'air des lieux de travail par spectrométrie atomique (juin 2002). Les particules recueillies sont mise en solution par les méthodes chimiques d'attaques acides. Trois méthodes d'analyse sont utilisables : l'absorption atomique flamme, l'absorption atomique four graphite ou l'ICP-Optique. Normalement ces techniques permettent de rechercher en une mesure plusieurs métaux. Il peut donc être intéressant et sécurisant de profiter de la mesure du plomb, de l'arsenic, du cadmium, du cuivre, du zinc ou du nickel pour rechercher les autres métaux.

#### Campagne de mesure

Encore une fois, il n'est pas nécessaire d'effectuer une mesure systématique des métaux sur chaque puits. En effet, leur présence dépend d'une part de leur concentration dans les sols (naturelle ou due à une activité humaine passée ou présente), et à l'étanchéité des conduits. Il faut donc commencer par effectuer une inspection caméra pour constater la présence de zones de détérioration permettant le passage de particules et un rapide historique du site.

La mesure peut être réalisée également lorsque les conduits sont en PVC qui peut contenir du cadmium, du plomb ou du zinc.

Une mesure des poussières déposées dans le puits peut permettre de déterminer la présence et la concentration des métaux.

Ensuite, seulement si des métaux sont détectés, les mesures de la fraction inhalable et de la fraction ingérable pourront être envisagées. Dans ce cas, il suffit d'échantillonner les particules comme indiqué précédemment et d'effectuer l'extraction et l'analyse des métaux.

Une comparaison entre les niveaux d'exposition avec et sans puits canadiens pourrait être intéressante.

Enfin, une mesure à la remise en fonctionnement après une interruption plus ou moins longue pourrait permettre d'estimer leur accumulation potentielle dans le puits.

### **3.2 Chlorure de vinyle**

#### Condition de transferts

Le chlorure de vinyle est un composé utilisé dans la fabrication du PVC. Les conduits réalisés dans ce matériau sont donc susceptibles d'en contenir. L'émission de chlorure de vinyle sous forme de vapeurs, plus ou moins continue, est favorisée par l'exposition du PVC au soleil ou sa montée en température. Donc dans le cas du puits canadien si le stockage n'est pas adapté ou si la prise d'air en PVC est en plein soleil...

#### Techniques de mesures

Le chlorure de vinyle peut être détecté dans l'air par un prélèvement au travers d'un tube rempli de charbon actif. Il est ensuite extrait du carbone avec du sulfure de carbone puis dosé par chromatographie en phase gazeuse avec détection par ionisation de flamme.

#### Campagne de mesure

Cette mesure n'est à réaliser que dans le cas où le conduit est en PVC.

La concentration extrême doit être mesurée en sortie de puits au moment de la première mise en route ou après une chaude journée ensoleillée.

Sinon la concentration chronique peut être mesurée en sortie de puits. D'autres mesures au niveau de la pièce à hauteur d'enfant et d'adulte permettent d'estimer la concentration inhalée par les occupants. Il faut que les autres sources potentielles aient été identifiées au préalable.

Une mesure à la remise en fonctionnement après une interruption plus ou moins longue pourrait permettre d'estimer son accumulation dans le puits.

Enfin il pourrait être intéressant d'effectuer des mesures en fonction du temps (tous les ans à la même date par exemple) pour étudier l'impact du vieillissement du conduit et la courbe de relargage du chlorure de vinyle.

### **3.3 Formaldéhyde**

#### Condition de transferts

Le formaldéhyde est un gaz miscible dans l'eau d'usage très courant. Il peut se retrouver dans le puits en étant aspiré par la prise d'air ou si des produits contenant du formaldéhyde sont utilisés pour nettoyer le puits. Il peut aussi être présent dans les sols ou les eaux suite à une pollution et passer par la porosité du matériau ou aux niveaux d'éventuelles détériorations ou défaut d'étanchéité.

#### Techniques de mesures

La méthode la plus utilisée consiste à piéger le composé sur une cartouche d'adsorbant imprégné de dinitrophénylhydrazine (DNPH). Le prélèvement peut être effectué par des capteurs passifs. L'analyse est ensuite effectuée en laboratoire par chromatographie liquide haute performance et détection dans l'ultraviolet (HPLC/UV).

Les normes les plus récentes en terme de mesure du formaldéhyde dans les environnements intérieurs sont : NF ISO 16000-2 : Stratégie d'échantillonnage du formaldéhyde ; NF ISO 16000-3 : Dosage du formaldéhyde et d'autres composés carbonyles – Méthode par échantillonnage actif ; NF ISO 16000-4 : Dosage du formaldéhyde – Méthode par échantillonnage diffusif.

#### Campagne de mesure

Le formaldéhyde doit être mesuré en entrée et en sortie de puits pour juger de la contribution de l'ouvrage. Une mesure en continu sur une période de temps assez longue peut être intéressante. De même qu'une comparaison avant/après nettoyage des conduits avec différentes techniques et peut-être différents produits de nettoyage.

Une mesure à la remise en fonctionnement après une interruption plus ou moins longue pourrait permettre d'estimer son accumulation dans le puits.

### **3.4 Benzène et styrène**

#### Condition de transferts

La source la plus probable de benzène ou de styrène dans le cas des puits canadiens est un sol pollué

#### Techniques de mesures

Le benzène et le styrène sont des COV, ils peuvent donc être détectés lors d'une recherche de COV.

Une méthode permet de réaliser la caractérisation de l'environnement gazeux contenant des composés organiques volatils. L'échantillonnage se fait sur tube adsorbant à base de carbone graphitisé et de CARBOSIEVE®. Le tube est ensuite désorbé thermiquement sous un courant de gaz inerte, qui est introduit dans l'appareil de chromatographie en phase gazeuse pour être analysé par spectrométrie de masse. Cette méthode NIOSH 2549 (1996) – Composés organiques volatils (Screening), permet d'identifier une large gamme de composés organiques dont le benzène et le styrène.

La méthode de référence pour le contrôle des composés aromatiques monocycliques, dont le benzène et le styrène est la NF X 43-251 (1993). Qualité de l'air – Air des lieux de travail – détermination de la concentration des hydrocarbures aromatiques monocycliques en phase gazeuse. Un volume d'air connu est prélevé à travers un tube en verre rempli de charbon actif. Les vapeurs organiques sont adsorbées sur le charbon puis désorbées par du disulfure de carbone. La solution est analysée par chromatographie en phase gazeuse avec détection par ionisation de flamme.

L'utilisation de cette méthode peut être l'occasion de détecter d'autres COV.

Pour le benzène ou le styrène adsorbés sur les particules et les poussières la méthode EPA 5030A (1992) : Purge and Trap peut être utilisée. Cette méthode permet de déterminer les composés organiques volatils (dont le benzène) dans une variété de matrices. La méthode EPA 5030A peut être utilisée pour la plupart des composés organo-volatils qui ont un point d'ébullition au-dessous de 200°C et sont insolubles ou légèrement solubles dans l'eau. La méthode décrit la préparation de l'échantillon (matrice liquide ou solide) et l'extraction pour l'analyse des organo-volatils (dont le benzène) par purge and trap. La détection peut être effectuée selon les diverses méthodes US EPA suivantes : EPA 8021B (1996) « Dosage des composés aromatiques et halogénés volatils par chromatographie en phase gazeuse », EPA 8260A (1994) « Dosage des composés organiques volatils par chromatographie en phase gazeuse avec colonne capillaire couplée à la spectrométrie de masse ».

### Campagne de mesure

Le benzène et le styrène doivent être mesurés en entrée et en sortie de puits pour juger de la contribution de l'ouvrage. Une mesure en continu sur une période de temps assez longue peut être intéressante pour juger des variations d'émission.

Une comparaison entre les niveaux d'exposition avec et sans puits canadiens pourrait être intéressante.

Une mesure à la remise en fonctionnement après une interruption plus ou moins longue pourrait permettre d'estimer leur accumulation dans le puits.

## **4 Agents biologiques**

Les agents biologiques sont rarement mesurés dans les études de risques concernant la QAI en absence de signe probant de contamination. En effet ce sont des mesures longues, délicates, peu précises et coûteuse. En outre, elles perdent un peu de leur intérêt en absence de relation dose-réponse car elles ne pourront pas aboutir à une évaluation quantitative des risques sanitaires. Toutefois des méthodes existent et peuvent permettre des comparaisons et des estimations de l'ampleur de la contamination.

### **4.1 Spores fongiques**

#### Rappel des effets

Les principaux dangers liés aux agents d'origines biologiques identifiés dans cette étude sont les réactions allergiques dues aux spores des moisissures.

#### Rappel des moyens de transfert

Les spores sont émises lorsque les conditions environnementales des moisissures se dégradent (manque de nutriments, brusques variation de température ou d'humidité...). Selon l'espèce, les spores sont plus ou moins transportables dans l'air. Plus la vitesse de l'air est grande, plus facilement les spores pourront être transportées. Les spores peuvent provenir de l'air extérieur ou du puits lui-même dans le cas où il serait contaminé.

#### Techniques de mesure

La première étape est de prélever les spores de moisissures dans le milieu. Pour cela plusieurs techniques d'échantillonnage sont disponibles.

Il existe ensuite plusieurs méthodes pour quantifier les spores de moisissures :

La méthode de mesures des spores totales consiste à quantifier les (1,3)- $\beta$ -D-glucans qui sont des constituants spécifiques de spores fongiques, présents dans la plupart des espèces. Leur dosage est fait par test LAL modifié ou test immuno-chimique (Enzyme immunoassay : EIA). Cette technique ne permet pas l'identification des différentes espèces.

L'autre méthode consiste à identifier les moisissures par observation macro et microscopiques. Pour cela, les moisissures sont cultivées dans des milieux nutritifs appropriés, traités au bactéricide, pendant une durée et à une température spécifiques. L'avantage principal est de pouvoir distinguer les différentes espèces de moisissures. Seules celles qui ont des spores de même morphologie ne peuvent être identifiées.

Des techniques spécifiques existent pour quelques allergènes de moisissures, notamment *Alternaria alternata* et *Cladosporium*. Ces techniques reposant sur le test ELISA (Enzyme Linked ImmunoSorbent Assay) permettent l'identification et la quantification des allergènes.

### Campagne de mesures

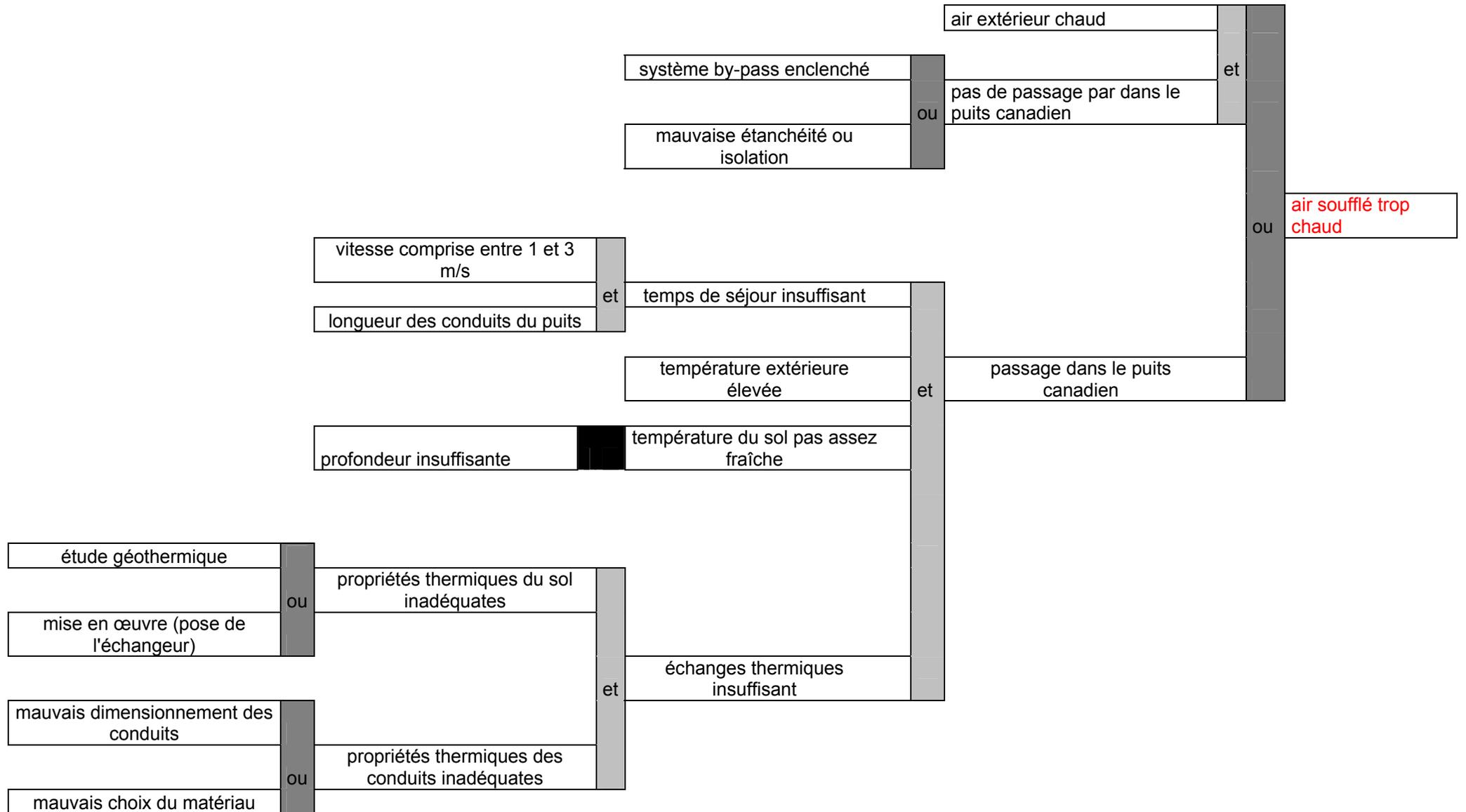
Les seules mesures utilisées actuellement sont la comparaison entre la concentration en spores fongique à l'extérieur et celle à l'intérieur du bâtiment.

Il faudrait donc réaliser des mesures au niveau de la prise d'air et en sortie de puits.

Ces mesures doivent être effectuées :

- avec et sans puits pour juger de l'influence du puits,
- après une période d'interruption plus ou moins longue pour savoir si un développement fongique a lieu dans le puits,
- à différent moment de la journée et de l'année pour appréhendes les variations de concentration.

## Annexe O : Exemple d'arbre des causes : Cas d'une température de l'air soufflé trop chaude



## **Annexe P : Analyse de sensibilité du classement des agents de dégradations de la QAI**

### *1. Sensibilité du choix des critères*

Les critères qui ont été choisis sont : la probabilité d'exposition, la fréquence d'exposition, la durée d'exposition, l'existence de valeurs sanitaires de références, la gravité des effets sur la santé et la gravités des effets sur le confort.

Tout d'abord, de nombreux autres critères auraient pu être ajoutés ici : l'existence de techniques de mesures, le coût de ces mesures, les attentes de la population et des clients, l'existence de moyens d'action contre les agents... Les classements auraient certainement été différents si d'autres critères avaient été utilisés.

De même, il est possible de discuter des critères qui ont été choisis surtout que les données pour les renseigner ne sont pas faciles à obtenir. Pour l'exposition il peut être suffisant de renseigner la fréquence si elle est mesurée dans le puits et de s'affranchir ainsi de la probabilité qui est ici discutable. De même l'existence de valeurs sanitaires de référence est un critère déterminant pour la suite de l'étude mais pas pour les effets sur la santé. Enfin, il aurait été possible de rassembler les effets sur la santé et les effets sur le confort puisqu'en se basant sur la définition de la santé de l'OMS, 1946, tous deux perturbent le « bien-être » et donc relèvent de la santé. Il est fort probable qu'avec ces modifications, le classement aurait été différent.

La sensibilité du choix des critères a été testée sur le classement des agents chimiques. Seuls les critères « fréquence d'exposition », « durée d'exposition » et « gravité des effets sur la santé » ont été conservés.

Le classement ainsi que la hiérarchisation sont modifiés. Le classement est modifié et semble moins contraignant : 33 classés 1 au lieu de 46, 31 classés 2 au lieu de 22 et 7 classés 3 au lieu de 2. Toutefois tous les agents classés en 1 l'étaient déjà dans le classement initial.

La hiérarchisation est légèrement modifiée.

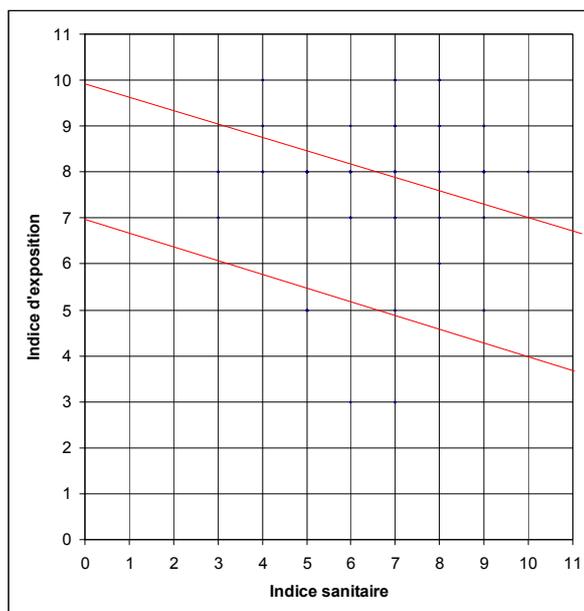
### *2. Sensibilité du choix du nombre de catégories pour chaque critère*

Le choix du nombre de catégorie par critère ne doit pas logiquement modifier le classement relatif des agents si l'échelle des scores est maintenue. Par contre, il permettrait d'affiner la hiérarchisation en diminuant le nombre d'ex aequo.

### *3. Sensibilité du choix du système de notation*

La sensibilité du système de notation a été testé sur le classement des agents chimiques en essayant une autre notation : « 4 » pou « 1000 », « 3 » pour « 100 », « 2 » pour

« 10 », « 1 » pour « 1 » et « 0 » pour « 0 ». Le nouveau graphique est présenté figure suivante.



*Analyse de la sensibilité du classement des sources de dégradation de la QAI liées au puits canadien en fonction de la notation*

Le classement est modifié et semble moins contraignant : 29 classés 1 au lieu de 46, 35 classés 2 au lieu de 22 et 6 classés 3 au lieu de 2. Toutefois tous les agents classés en 1 l'étaient déjà dans le classement initial.

La hiérarchisation est légèrement modifiée.

#### *4. Sensibilité de la notation des agents*

La répartition des agents est très sensible à la nature et à la qualité des données sources et à l'appréciation de l'auteur. En effet la plupart des agents a été noté en fonction d'un premier classement (probabilité, fréquence...). Or ce classement a été effectué sur des critères et des seuils subjectifs. Il est donc possible de discuter ces classements et les notes qui en sont issues.

#### *5. Sensibilité du choix de la méthode de classement*

Il aurait été possible d'effectuer un classement sans les indices, en se basant simplement sur les scores des critères. Les classes pourraient être fixées de la manière suivante : Entre 2400 et 231 pour la classe 1, entre 230 et 24 pour la classe 2 et en-dessous de 23 pour la classe 3.

Un test a été effectué avec les agents chimiques.

La hiérarchisation est maintenue. Par contre, le classement est différent et semble plus contraignant que celui d'origine : 61 agents classés 1 au lieu de 46 et 10 agents classés 2 au lieu de 22. Il n'y a plus de agents classés 3.

6. *Sensibilité du choix de la méthode de hiérarchisation*

Il a été décidé de hiérarchiser les agents en fonction de la somme de leur score pour chaque critère. Il aurait été possible de faire autrement, en effectuant un produit par exemple ou en pondérant les critères.

Un test avec un produit est effectué sur les agents chimiques.

Le manque de donnée est ici beaucoup plus sensible puisque tous les agents pour lequel un critère n'est pas renseigné ne peuvent être hiérarchisés. Seuls 21 agents peuvent ainsi être hiérarchisés. En outre, la hiérarchisation est différente de la précédente.