

Évaluation préalable pour le Défi concernant le

2-furaldéhyde

**Numéro de registre du Chemical Abstracts Service
98-01-1**

**Environnement Canada
Santé Canada**

Septembre 2011

Sommaire

Conformément à l'article 74 de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999)* [LCPE (1999)], les ministres de l'Environnement et de la Santé ont effectué une évaluation préalable du 2-furaldéhyde, aussi connu sous le nom de furan-2-carbaldéhyde, dont le numéro de registre du Chemical Abstracts Service est 98-01-1. Une priorité élevée a été accordée à l'évaluation de cette substance, qui a été classée parmi les produits visés par le Défi dans le cadre du Plan de gestion des produits chimiques car on a déterminé qu'elle présente un risque d'exposition élevé pour la population canadienne et car elle est inscrite sur une liste de produits cancérigènes par d'autres organismes. Bien que le 2-furaldéhyde réponde aux critères de catégorisation écologique relatifs à la toxicité intrinsèque pour les organismes aquatiques, il ne répond pas à ceux relatifs à la persistance et au potentiel de bioaccumulation.

Selon les renseignements soumis en vertu de l'article 71 de la LCPE (1999), entre 100 000 et 1 000 000 kg ont été importés et utilisés au Canada en 2006. Au Canada, toutes les utilisations de 2-furaldéhyde stipulées au cours de l'enquête menée conformément à l'article 71 de la LCPE (1999) sont de nature industrielle. Le 2-furaldéhyde est une substance naturellement présente dans une variété d'aliments et de boissons (p. ex., les fruits et les légumes), et peut également être formée durant le traitement thermique des aliments. Cette substance peut aussi être ajoutée aux aliments en tant qu'aromatisant. D'après les renseignements disponibles sur les sources et les utilisations du 2-furaldéhyde, la population générale devrait être exposée à cette substance principalement en raison de sa présence naturelle dans les aliments, mais aussi dans les milieux environnementaux (air ambiant et intérieur), ainsi qu'à partir de l'utilisation de produits de consommation qui contiennent cette substance.

Des organismes internationaux ont examiné l'ensemble des renseignements disponibles concernant la cancérigénicité, et ont découvert que les preuves relatives sont limitées. Selon les renseignements disponibles à propos de la génotoxicité, ainsi que les conclusions tirées par ces organismes internationaux, le 2-furaldéhyde n'est probablement pas génotoxique et une démarche basée sur les seuils a été utilisée dans la caractérisation des risques. Les effets critiques de la caractérisation des risques pour la santé humaine, découlant de l'exposition par voie orale et par inhalation au 2-furaldéhyde sont des effets sur le foie et des effets sur les fosses nasales, respectivement.

La caractérisation des risques pour la santé humaine a principalement ciblé l'exposition de l'ensemble de la population au 2-furaldéhyde provenant de sources autres que sa présence naturelle dans les aliments (air ambiant et intérieur, produits de consommation) et les marges d'expositions ont été considérées comme étant adéquate pour répondre aux incertitudes liées aux bases de données des effets sur la santé et de l'exposition. On conclut donc que le 2-furaldéhyde ne pénètre pas dans l'environnement en une quantité, à une concentration ou dans des conditions pouvant constituer un danger pour la vie ou la santé humaines au Canada.

Le 2-furaldéhyde ne satisfait pas aux critères de persistance ou de bioaccumulation énoncés dans le *Règlement sur la persistance et la bioaccumulation*. Alors que la substance pourrait avoir le potentiel de causer des effets nocifs sur les organismes aquatiques vulnérables qui sont exposés à des concentrations relativement faibles de ce produit pendant de longues périodes, une analyse du quotient du risque prudent a permis de déterminer que les concentrations d'exposition obtenues à partir des sources anthropiques de 2-furaldéhyde dans l'environnement canadien n'atteindront pas des niveaux qui pourraient causer des effets nocifs aux organismes. Sur la base de la faible pertinence et du potentiel de bioaccumulation peu élevé, ainsi que des concentrations d'exposition basses dans l'environnement, on conclut que le 2-furaldéhyde ne pénètre pas dans l'environnement en une quantité ou concentration ou dans des conditions de nature à avoir, immédiatement ou à long terme, un effet nocif sur l'environnement ou sur la diversité biologique, ni à mettre en danger l'environnement essentiel pour la vie.

D'après les renseignements disponibles, il est conclu que le 2-furaldéhyde ne satisfait à aucun des critères de l'article 64 de la LCPE (1999).

L'inclusion de cette substance sera considérée dans la prochaine mise à jour de l'inventaire de la *Liste intérieure*. De plus, des activités de recherche et de surveillance viendront, le cas échéant, appuyer la vérification des hypothèses formulées au cours de l'évaluation préalable.

Introduction

La *Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999)* [LCPE (1999)] (Canada, 1999) exige que les ministres de l'Environnement et de la Santé procèdent à une évaluation préalable des substances qui répondent aux critères de catégorisation énoncés dans la *Loi*, afin de déterminer si elles présentent ou sont susceptibles de présenter un risque pour l'environnement ou la santé humaine.

D'après les informations obtenues dans le cadre de la catégorisation, les ministres ont identifié un certain nombre de substances hautement prioritaires pour lesquelles entreprendre une action. Ces substances comprennent celles qui

- répondent à tous les critères environnementaux de catégorisation, notamment la persistance (P), le potentiel de bioaccumulation (B) et la toxicité intrinsèque (Ti) pour les organismes aquatiques et que l'on estime commercialisées;
- répondent aux critères de catégorisation pour le plus fort risque d'exposition (PFRE) ou qui présentent un risque d'exposition intermédiaire (REI) et qui ont été jugées particulièrement dangereuses pour la santé humaine, compte tenu des classifications qui ont été établies par d'autres organismes nationaux ou internationaux concernant leur cancérogénicité, leur génotoxicité ou leur toxicité pour le développement ou la reproduction.

Le 9 décembre 2006, les ministres ont donc publié un avis d'intention dans la Partie I de la *Gazette du Canada* (Canada, 2006) dans lequel ils priaient l'industrie et les autres parties intéressées de fournir, selon un calendrier déterminé, des renseignements précis qui pourraient servir à étayer l'évaluation des risques, ainsi qu'à élaborer et à évaluer les meilleures pratiques de gestion des risques et de bonne gestion des produits pour ces substances jugées hautement prioritaires.

Une priorité élevée a été donnée à l'évaluation du risque que comporte le 2-furaldéhyde pour la santé humaine étant donné le risque d'exposition des Canadiens, qui a été jugé le PFRE, et la classification de la substance par d'autres organismes en ce qui a trait à la cancérogénicité.

Le volet du Défi portant sur le 2-furaldéhyde a été publié dans la *Gazette du Canada* le 26 septembre 2009 (Canada, 2009a, b). En même temps a été publié le profil de cette substance, qui présentait l'information technique (obtenue avant décembre 2005) sur laquelle a reposé sa catégorisation. Des renseignements sur la substance ont été communiqués en réponse au Défi.

Même s'il a été jugé hautement prioritaire d'évaluer les risques que présente le 2-furaldéhyde pour la santé humaine et que cette substance répond aux critères environnementaux de catégorisation ayant trait à la toxicité intrinsèque pour les organismes aquatiques, la substance ne répondait pas aux critères pour la persistance ou le potentiel de bioaccumulation.

Les évaluations préalables effectuées aux termes de la LCPE (1999) mettent l'accent sur les renseignements jugés essentiels pour déterminer si une substance répond aux critères définis à l'article 64 de la *Loi*. Les évaluations préalables visent à examiner des renseignements scientifiques et à tirer des conclusions fondées sur la méthode du poids de la preuve et le principe de prudence.¹

La présente version finale de l'évaluation préalable prend en considération les renseignements sur les propriétés chimiques, les dangers, les utilisations et l'exposition, y compris ceux fournis dans le cadre du Défi. Les données pertinentes pour l'évaluation préalable du 2-furaldéhyde sont tirées de publications originales, des rapports de synthèse et d'évaluation de rapports de recherche de parties intéressées et d'autres documents consultés au cours de recherches documentaires menées récemment jusqu'en mai 2010 (sections du document concernant l'exposition et les effets sur la santé humaine) et jusqu'en mai 2010 (sections du document concernant l'exposition, les effets et l'environnement). Les études les plus importantes ont fait l'objet d'une évaluation critique; il est possible que les résultats de modélisation aient servi à formuler des conclusions. L'évaluation des risques pour la santé humaine comprend l'examen de données pertinentes pour l'évaluation de l'exposition (non professionnelle) de la population dans son ensemble ainsi que de l'information sur les dangers pour la santé (principalement d'après les évaluations s'appuyant sur la méthode du poids de la preuve effectuées par d'autres organismes, lesquelles qui ont servi à déterminer le caractère prioritaire de la substance). Les décisions concernant la santé humaine reposent sur la nature de l'effet critique retenu ou sur l'écart entre les valeurs prudentes donnant lieu à des effets et les estimations de l'exposition, en tenant compte de la confiance accordée au caractère exhaustif des bases de données sur l'exposition et les effets, cela dans le contexte d'une évaluation préalable. L'évaluation préalable finale ne constitue pas un examen exhaustif ou critique de toutes les données disponibles. Il s'agit plutôt d'un sommaire de l'information la plus importante afin d'appuyer la conclusion.

Cette version finale de l'évaluation préalable a été préparée par le personnel du Programme des substances existantes de Santé Canada et d'Environnement Canada et elle intègre les résultats d'autres programmes exécutés par ces ministères. Les portions de cette évaluation préalable concernant l'environnement et la santé humaine ont fait l'objet d'une consultation et d'une étude consignée par des pairs. Des commentaires sur les portions techniques concernant la santé humaine ont été reçus de la part d'experts scientifiques désignés et dirigés par la Toxicology Excellence for Risk Assessment

¹ La détermination de la conformité à l'un ou plusieurs des critères énoncés à l'article 64 repose sur l'évaluation des risques pour l'environnement ou la santé humaine associés aux expositions dans l'environnement en général. Pour les humains, ceci inclut, sans toutefois s'y limiter, les expositions à l'acrylate d'éthyle par l'air ambiant et intérieur, l'eau potable, les produits alimentaires et l'utilisation de produits de consommation. Une conclusion établie en vertu de la LCPE (1999) sur les substances des lots 1 à 12 du Défi, énumérées dans le Plan de gestion des produits chimiques, n'est pas pertinente, ni n'empêche une évaluation en fonction des critères de danger définis dans le *Règlement sur les produits contrôlés* qui fait partie du cadre réglementaire applicable au Système d'information sur les matières dangereuses utilisées au travail pour les produits destinés à être utilisés au travail. De manière similaire, une conclusion fondée sur les critères définis à l'article 64 de la LCPE (1999) n'empêche pas d'intervenir en vertu d'autres articles de la LCPE (1999) ou d'autres lois.

(TERA), notamment M. Bernard Gadagbui, (TERA), M. Michael Jayjock. (The LifeLine Group) et M. Chris Bevans (CJB Consulting).

De plus, l'ébauche de la présente évaluation préalable a fait l'objet d'une période de commentaires de 60 jours par le public. Bien que les commentaires venus de l'extérieur aient été pris en considération, Santé Canada et Environnement Canada sont seuls responsables du contenu final et des résultats de l'évaluation préalable. Les approches suivies lors des évaluations préalables dans le cadre du Défi ont été examinées par un groupe indépendant, soit le Groupe consultatif du Défi.

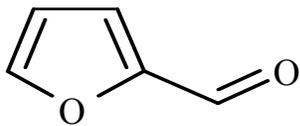
Les principales données et considérations sur lesquelles repose l'évaluation préalable finale sont résumées dans le présent rapport.

Identité de la substance

Nom de la substance

Aux fins du présent rapport, la substance est appelée 2-furaldéhyde, son nom dans la LIS.

Tableau 1. Identité de la substance – 2-furaldéhyde

Numéro de registre du Chemical Abstracts Service (n° CAS)	98-01-1
Nom dans la LIS	2-furaldéhyde
Noms relevés dans les National Chemical Inventories (NCI)^a	<i>2-furancarboxaldehyde (TSCA, AICS, SWISS, PICCS, ASIA-PAC, NZIoC)</i> <i>2-furaldéhyde (EINECS)</i> <i>furfural (ENCS, ECL, SWISS, PICCS)</i> <i>2-furancarboxyaldehyde (ECL)</i> <i>furan-2-carboxaldehyde (PICCS)</i>
Autres noms	<i>furan-2-carbaldéhyde, furfural, furfurol, aldéhyde furanique, aldéhyde 2-furfuranique, aldéhyde furfurolique, aldéhyde pyromucique, formyl-2-furanne, fural, fural-2 aldéhyde, furfuraldéhyde, furol, furfurole, furylaldéhyde, furylméthanal, n° SNC 8841, n° ONU 1199, n° ONU 1199 (DOT)</i>
Groupe chimique (groupe de la LIS)	Produits chimiques organiques définis
Principale classe chimique ou utilisation	Composés organiques hétérocycliques à faible poids moléculaire
Principale sous-classe chimique	Furanes, aldéhydes
Formule chimique	C ₅ H ₄ O ₂
Structure chimique	
SMILES^b	O=CC(OC=C1)=C1
Poids moléculaire	96,09 g/mol

^a National Chemical Inventories (NCI), 2009 : AICS (inventaire des substances chimiques de l’Australie); ASIA-PAC (listes des substances de l’Asie-Pacifique); DOT (U.S. Department of Transport); ECL (liste des substances chimiques existantes de la Corée); EINECS (Inventaire européen des substances chimiques commerciales existantes); ENCS (inventaire des substances chimiques existantes et nouvelles du Japon); NZIoC (inventaire des substances chimiques de la Nouvelle-Zélande); PICCS (inventaire des produits et substances chimiques des Philippines); SWISS (liste des toxiques 1 et inventaire des nouvelles substances notifiées); TSCA (inventaire des substances chimiques visées par la *Toxic Substances Control Act* des États-Unis).

^b Simplified Molecular Input Line Entry System

Propriétés physiques et chimiques

Le tableau 2 présente les données physiques et chimiques (valeurs expérimentales et modélisées) qui se rapportent au devenir dans l'environnement du 2-furaldéhyde.

Tableau 2. Propriétés physiques et chimiques du 2-furaldéhyde (l'astérisque indique la valeur retenue pour la modélisation)

Propriété	Type	Valeur ^a	Température (°C)	Référence
Point de fusion (°C)	Expérimental	-36,5		O'Neil <i>et al.</i> , 2006
		-38,1*		Lide, 2007-2008
	Modélisé	-29,5		MPBPWIN, 2008
Point d'ébullition (°C)	Expérimental	161,7		Lide, 2007-2008
	Modélisé	143,8		MPBPWIN, 2008
Masse volumique (kg/m ³)	Expérimental	1 159	20	Lide, 2007-2008
		1 154 à 1 158	25	Lewis, 2000
Pression de vapeur (Pa)	Expérimental	133 (1,00 mm Hg)	19	Clayton et Clayton, 1981
		267 (2 mm Hg)	20	ACGIH, 1986
		277 (2,08 mm Hg)	25	ISHOW, 1992
		295* (2,21 mm Hg)	25	Daubert et Danner, 1989
	Modélisé	309 (2,32 mm Hg)	25	MPBPWIN, 2008
Constante de la loi de Henry (Pa·m ³ /mol)	Modélisé	1,36 (1,34 × 10 ⁻⁵ atm·m ³ /mol; méthode d'estimation fondée sur les liaisons)	25	HENRYWIN, 2008
		0,55 (5,48 × 10 ⁻⁶)		

Propriété	Type	Valeur ^a	Température (°C)	Référence
		atm·m ³ /mol; méthode de la pression de vapeur et de l'hydrosolubilité ^b)		
		0,38 (3,77 × 10 ⁻⁶ atm·m ³ /mol; méthode de la pression de vapeur et de l'hydrosolubilité ^c)		
Log K _{oc} (coefficient de partage octanol- eau) (sans dimension)	Expérimental	0,41*		Hansch <i>et al.</i> , 1995
	Modélisé	0,83	25	KOWWIN, 2008
Log K _{co} (coefficient de partage carbone organique-eau) (sans dimension)	Expérimental	0,815 ^d		Présentation de projet, 2010
	Modélisé	0,78 (estimé à partir de l'indice de connectivité moléculaire)	25	KOCWIN, 2008
		0,92 (estimé à partir de la valeur expérimentale du log K _{oc} de 0,41)		
Solubilité dans l'eau (mg/L)	Expérimental	83 000	20	Clayton et Clayton, 1981
		89 000	20	Lide, 2007-2008
		74 100*	25	Yalkowsky et He, 2003
	Modélisé	53 580	25	WSKOWWIN, 2008

^a Les valeurs entre parenthèses représentent les valeurs originales rapportées par les auteurs ou estimées par les modèles.

^b Valeur calculée à l'aide d'une pression de vapeur de 309 Pa (MPBPWIN, 2008) et d'une solubilité dans l'eau de 53 580 mg/L (WSKOWWIN, 2008).

^c Valeur calculée à l'aide d'une pression de vapeur de 295 Pa (Daubert et Danner, 1989) et d'une solubilité dans l'eau de 74 100 mg/L (Yalkowsky et He, 2003).

^d Valeur extrapolée.

Sources

Le 2-furaldéhyde est une substance à l'état naturel que l'on trouve dans les aliments et les boissons (p. ex. les fruits et légumes). Le Programme international sur la sécurité des substances chimiques (PISSC, 2000) a déclaré que le 2-furaldéhyde se forme également pendant la décomposition thermique des glucides. Le 2-furaldéhyde se forme lorsque les glucides (ou toute substance contenant des sucres) sont chauffés ou qu'ils subissent une hydrolyse acide, par l'intermédiaire de deux mécanismes possibles. L'un de ces deux mécanismes est la réaction de Maillard, qui concerne une énolisation en milieu acide, ainsi que la déshydratation subséquente des 3-désoxy-ozones formées au cours de l'hydrolyse acide. Le second mécanisme concerne l'isomérisation de lactose, connue sous le nom de transformation Lobry De Bruyn-Alberda van Ekenstein, ainsi que les réactions subséquentes de dégradation (Olano *et al.*, 1996; van Boekel, 1998; Ferrer *et al.*, 2002). La formation relative du 2-furaldéhyde dépend de la teneur en pH et en humidité (Ferrer *et al.*, 2002). Le 2-furaldéhyde est en outre l'un des principaux composés produits durant le processus de fermentation par levure (Almeida *et al.*, 2009; Heer *et al.*, 2009; Lin *et al.*, 2009).

Le 2-furaldéhyde est un composant de nombreuses huiles essentielles de la famille de végétaux des *Pinaceae*, de l'huile essentielle de *Cajenne linaloe* et de l'huile des feuilles de *Trifoli pratense* et de *Trifolium incarnatum* (Furia et Bellanca, 1975). Il est présent dans les eaux de distillation des huiles essentielles comme l'essence d'ambrette et la semence d'angélique, l'essence de cannelle de Ceylan, de petit-grain, d'ylang-ylang, de lavande, de lemon-grass, de calamus, d'eucalyptus, de néroli, de santal et des feuilles de tabac (Furia et Bellanca, 1975).

Le 2-furaldéhyde a été détecté dans des émissions provenant de tuiles de plafonds acoustiques (Alevantis, 2003). Le PISSC (2000) a par ailleurs signalé des niveaux élevés de 2-furaldéhyde dans les eaux usées de l'industrie des pâtes de bois.

La présence de 2-furaldéhyde dans le tabac et la fumée a été étayée dans des documents; il est produit par la pyrolyse de certaines substances non volatiles qui pourraient être utilisées en tant qu'additifs dans la fabrication des produits du tabac, particulièrement les sucres, qui produisent un effet sur le goût et l'arôme (Shaughnessy *et al.*, 2001; Baker et Bishop, 2005; Rodgman et Perfetti, 2009;). Cependant, au Canada, l'utilisation de certains additifs (y compris le 2-furaldéhyde) dans la fabrication des cigarettes, des petits cigares (cigarillos) et des feuilles du papier (feuilles d'enveloppe) est interdite en vertu de la *Loi modifiant la Loi sur le tabac* (Canada, 2009).

Selon les renseignements recueillis à la suite d'une enquête réalisée aux termes de l'article 71 de la LCPE (1999), de 100 000 à 1 million de kg ont été importés au Canada en 2006, tandis que de 100 000 à 1 million de kg de cette substance ont été utilisés au Canada durant la même année (Environnement Canada, 2008).

Utilisations

Au Canada, les utilisations de 2-furaldéhyde déclarées dans le cadre de l'enquête menée en vertu de l'article 71 (Environnement Canada, 2008) sont des utilisations industrielles. Au Canada, le 2-furaldéhyde n'est pas répertorié comme additif alimentaire conformément au *Règlement sur les aliments et drogues* (Canada, 1978). Toutefois, cette substance peut être utilisée en tant qu'arôme dans certains aliments, comme les arômes ne sont pas réglementés en vertu du *Règlement sur les aliments et drogues* (communication personnelle de la Direction des aliments adressée au Bureau de gestion du risque en avril 2010, source non citée).

En Europe, le 2-furaldéhyde est utilisé comme arôme dans les aliments comme les produits de boulangerie, les produits laitiers congelés, les produits de viandes, les friandises, les puddings, les boissons et les sauces (Adams *et al.*, 1997; UE, 2008; Burdock, 2010). Le 2-furaldéhyde a été classé comme un produit généralement reconnu inoffensif (Generally Recognized as Safe [GRAS]) par la Flavor and Extract Manufacturers Association (FEMA) (Adams *et al.*, 1997).

Le Comité mixte FAO/OMS d'experts des additifs alimentaires (JECFA, 1993) a déclaré que le 2-furaldéhyde pourrait être présent dans certains aliments à la suite de son utilisation en tant que solvant d'extraction, mais cette utilisation n'est pas approuvée au Canada (communication personnelle de la Direction des aliments adressée au Bureau de gestion du risque en avril 2010, source non citée).

Au Canada, le 2-furaldéhyde a été défini comme un produit de départ utilisé dans la fabrication d'un ingrédient destiné à un produit d'encre, lequel est appliqué sur l'extérieur de matériaux d'emballage alimentaire. Ce produit n'entre toutefois pas en contact avec les aliments (communication personnelle de la Direction des aliments adressée au Bureau de gestion du risque en avril 2010, source non citée).

Le 2-furaldéhyde est un composant de plusieurs huiles essentielles qui peuvent être utilisées dans des produits cosmétiques, principalement comme parfums. Au Canada, les parfums provenant des sources naturelles sont normalement déclarés comme un ingrédient et les composants individuels d'un parfum ne sont ainsi pas nécessairement signalés en vertu du Système de déclaration des cosmétiques du Canada (Santé Canada, 2009; communication personnelle du Bureau de gestion du risque adressée au Bureau de l'évaluation des risques des substances existantes en mars 2010, source non citée). Des concentrations de 2-furaldéhyde variant entre 0,0005 et 0,1 % dans les savons, les détergents, les crèmes, les lotions et les parfums ont été déclarées au cours d'une évaluation du 2-furaldéhyde de l'Union européenne (UE, 2008). Le Comité scientifique des produits cosmétiques et des produits non alimentaires destinés aux consommateurs (CSPCPNA, 2004a) de l'Union européenne (UE) a conclu que le 2-furaldéhyde peut être « utilisé en toute sécurité en tant qu'arôme ou parfum à une concentration maximale de 0,036 % de la substance parfumée, à l'exception d'une substance parfumée dont l'utilisation est destinée aux dentifrices, pour laquelle la concentration maximale est de 0,002 % de la substance parfumée ».

Au Canada, le 2-furaldéhyde figure également dans la Base de données sur les ingrédients des produits de santé naturels en tant qu'ingrédient non médicinal acceptable pour une utilisation comme aromatisant ou solvant dans les produits de santé naturels (BDIPSN, 2010). La BDIPSN décrit un apport quotidien acceptable de 0,5 mg/kg poids corporel (p.c.) par jour (adopté du JECFA, 2000) de 2-furaldéhyde (BDIPSN, 2010). Le 2-furaldéhyde ne figure pas dans la Base de données des produits de santé naturels homologués et n'est pas présent dans aucun produit de santé naturel homologué (BDPSNH, 2010).

Au Canada, le 2-furaldéhyde figure dans la Base de données sur les produits pharmaceutiques en tant qu'ingrédient actif présent dans deux produits vétérinaires, mais dans aucun produit pharmaceutique destiné à l'humain (BDPP, 2010). Le 2-furaldéhyde ne figure pas dans la Base de données interne des ingrédients non médicinaux de la Direction des produits thérapeutiques, en tant qu'ingrédient non médicinal présent dans les produits pharmaceutiques destinés à l'humain ou dans les produits vétérinaires (BDIM DPT, 2010).

Au Canada, le 2-furaldéhyde sert aussi d'attractif dans trois produits antiparasitaires (un rodenticide et deux appâts à coquerelles) à des concentrations variant de 0,000025 à 0,0002 % (communication personnelle du Bureau de gestion du risque adressée au Bureau de l'évaluation des risques des substances existantes en mars 2010, source non citée).

Le modèle d'utilisation global du 2-furaldéhyde a été décrit par le Bureau Européen des Substances Chimiques (UE, 2008) et comprend ce qui suit : la fabrication de dérivés (furanes et tétrahydrofuranes), principalement dans la fabrication de furan-2-ylméthanol, d'alcool tétrahydrofurfurylique et d'éther glycolique de polytétraméthylène; intermédiaire chimique dans la fabrication de furor, d'hexaméthylènediamine et d'acide pyromucique (application restreinte en laboratoire); distillation extractive d'hydrocarbures C4 et C5 dans la fabrication de caoutchouc synthétique, notamment le butadiène et l'isoprène (2-méthyl-1,3-butadiène); solvant sélectif dans la séparation des composés saturés de l'huile lubrifiante, du gasoil et du carburant diesel, pour accroître leur stabilité dans des situations d'exploitation et pour augmenter l'indice de viscosité; solvant et agent technologique dans la séparation de l'anthracène et du charbon ou des produits du charbon (application désuète); solvant réactif et agent mouillant dans la fabrication de meules abrasives, de garnitures de frein et de matières réfractaires; solvant réactif du Novolaque phénolique et des résines de furan-2-ylméthanol; agent aromatisant dans une grande variété d'aliments; herbicide, fongicide, insecticide, germicide et nématocide; agent décolorant dans les résines du bois; ingrédient dans les colorants, polymères et résines; parfum dans les savons, détergents, lotions, crèmes et parfums; agent de chimie analytique; accélérateur de vulcanisation; solvant dans le coton nitré, l'acétate de cellulose et les gommes; construction routière et raffinage du métal; composant du gasoil repère GOM X.

Rejets dans l'environnement

Le 2-furaldéhyde peut être rejeté dans l'environnement par l'intermédiaire de différents flux de déchets, à la suite de sa production et de son utilisation comme solvant, comme charge d'alimentation dans les dérivés du furane, ainsi que comme agent mouillant et ingrédient aromatisant (Kottke, 2000; Lewis, 2003).

Le 2-furaldéhyde peut en outre être rejeté dans l'environnement dans l'effluent final (une fraction de la vapeur d'eau du sulfite seulement) des fabriques de pâte de bois, en raison de la dégradation incomplète du 2-furaldéhyde dans les installations de traitement des eaux usées (PISSC, 2000).

Les émissions des gaz de carneau d'un incinérateur de déchets municipal en Allemagne contenaient 0,18 µg de 2-furaldéhyde/m³ (Jay et Stieglitz, 1995). Du 2-furaldéhyde a été détecté dans la fumée du bois de chauffage (Lipari *et al.*, 1984; Kleindienst *et al.*, 1986; McDonald *et al.*, 2000) et des incendies de forêt (Materna *et al.*, 1992).

Devenir dans l'environnement

D'après les propriétés physiques et chimiques du 2-furaldéhyde (tableau 2), les résultats de la modélisation de fugacité de niveau III (tableau 3) indiquent que cette substance devrait demeurer dans l'air, l'eau et le sol, selon le milieu où elle est rejetée. Les renseignements disponibles indiquent que les rejets de 2-furaldéhyde au Canada sont principalement produits dans l'eau, une plus petite quantité étant libérée dans l'air (voir la section Rejets dans l'environnement ci-dessus).

Tableau 3. Résultats de la modélisation de la fugacité de niveau III (EQC, 2003)

Substance rejetée dans :	Pourcentage de la substance répartie dans chaque milieu			
	Air	Eau	Sol	Sédiments
l'air (100 %)	67,8	16,7	15,4	0,1
l'eau (100 %)	0,0	99,8	0,0	0,2
le sol (100 %)	0,2	20,6	79,2	0,0

S'il est rejeté dans l'air, une plus grande quantité (68 %) de 2-furaldéhyde devrait demeurer dans l'air (voir le tableau 3), bien qu'une certaine quantité pourrait être déposée dans l'eau (17 %) et le sol (15 %). La pression de vapeur relativement élevée de 133 à 309 Pa (tableau 2) indique que le 2-furaldéhyde sera principalement présent sous forme de vapeur dans l'atmosphère (Howard, 1993).

S'il est rejeté dans l'eau, le 2-furaldéhyde devrait vraisemblablement demeurer dans ce milieu, la très faible valeur du log K_{co} de 0,78 à 0,92 (tableau 2) laisse entendre qu'il ne s'adsorbera pas fortement sur les matières solides en suspension et les sédiments. Alors

que la pression de vapeur du 2-furaldéhyde est relativement élevée, son hydrosolubilité élevée (de 53 580 à 89 000 mg/L) entraîne une faible constante de la loi de Henry de 0,38 à 1,36 Pa·m³/mol, indiquant que bien qu'une certaine volatilisation des surfaces de l'eau pourrait se produire, elle ne devrait cependant pas représenter un processus important (Howard, 1993).

S'il est rejeté dans le sol, la très faible valeur du K_{co} indique que le 2-furaldéhyde s'adsorbera très peu sur les particules et les matières organiques dans le sol, et pourrait ainsi être hautement mobile. Cette mobilité, combinée à une hydrosolubilité élevée, laisse entendre que le 2-furaldéhyde peut se déplacer rapidement vers le profil du sol, atteignant et contaminant ainsi possiblement les eaux souterraines. Toutefois, la dégradation microbienne rapide (voir la section Persistance dans l'environnement) devrait limiter le temps passé par la substance dans le sol et accélérer sa minéralisation, empêchant ainsi probablement un déplacement important vers le bas. Bien qu'une volatilisation à partir de surfaces du sol humides et sèches puisse se produire en raison de la pression de vapeur relativement élevée, la faible constante de la loi d'Henry laisse entendre que ce processus ne sera pas important (Howard, 1993).

Ces résultats représentent la répartition de la substance dans un environnement d'évaluation hypothétique découlant d'une répartition entre les milieux, et la perte tant par les processus de transport d'advection (à l'extérieur du milieu modélisé) que de dégradation ou de transformation. Les valeurs de répartition présentées dans le tableau 3 représentent les effets nets de ces processus dans des conditions de rejets continus lorsqu'un « état stable » hors de l'équilibre est atteint.

Persistance et potentiel de bioaccumulation

Persistance dans l'environnement

Le tableau 4a présente les données empiriques sur la dégradation du 2-furaldéhyde. En considération des rejets et du comportement de répartition, l'air, l'eau et le sol constituent les principaux milieux d'intérêt de cette substance.

Un coefficient de $3,51 \times 10^{-11} \text{ cm}^3 \cdot \text{molécule}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ a été établi pour la réaction de la phase gazeuse du 2-furaldéhyde sous l'effet de radicaux hydroxyles d'origine photochimique à environ 25 °C, correspondant à une limite maximale du temps de résidence dans l'atmosphère de 5 heures, selon une concentration de radicaux hydroxyles pendant 12 heures en moyenne de $1,6 \times 10^6 \text{ molécules} \cdot \text{cm}^{-3}$ (Bierbach *et al.*, 1995). En appliquant les méthodes décrites par Aronson et Howard (1999), une demi-vie atmosphérique de 0,44 jour a été calculée à partir de ces données (UE, 2008); elle indique que le 2-furaldéhyde n'est probablement pas persistant dans l'air. De plus, la destruction nocturne par les trioxydes d'azote peut représenter un processus de dégradation atmosphérique important du 2-furaldéhyde dans les zones urbaines, tandis qu'une dégradation photochimique directe est également prévue (Howard, 1993).

Des demi-vies photolytiques empiriques de 6,72, 6 et 6,69 jours à une teneur en pH de 5, 7 et 9, respectivement, ont été déterminées à la suite d'une exposition de 30 jours à une concentration de 9,81 mg/L à une lumière solaire artificielle intérieure (Présentation de projet, 2010). D'après ces résultats, le 2-furaldéhyde devrait subir une photolyse dans les plans d'eau naturels, produisant plusieurs photoproduits, dont de l'acide succinique, de l'acide malonique, de l'acide 2-oxopentanedioïque, de l'acide formique et de l'acide propionique.

Une étude d'hydrolyse menée à 25 °C selon une teneur en pH de 5, 7 et 9, indique que le 2-furaldéhyde est stable, aucun produit de dégradation n'ayant été détecté après la période de 30 jours de l'étude (présentation de projet, 2010).

Le NITE (2002) a établi que le 2-furaldéhyde se biodégrade immédiatement à la suite d'un essai de biodégradation immédiate standard, la substance s'étant biodégradée à 93,5 % au cours d'une période de 2 semaines à une concentration d'exposition de 100 mg/L. Le 2-furaldéhyde s'est immédiatement biodégradé dans des boues activées acclimatées à une concentration d'essai de 200 mg/L dans une culture aérobie en lots en continu, à raison de 96,3 % en 5 jours (Pitter, 1976). Une biodégradation a par ailleurs été observée dans des organismes non acclimatés; cependant, une période d'acclimatation de 4 à 7 jours a été nécessaire avant que ne se produise cette biodégradation (Rowe et Tullios, 1980).

Tableau 4a. Données empiriques sur la dégradation du 2-furaldéhyde

Milieu	Processus du devenir	Valeur pour la dégradation	Paramètre et unités de la dégradation	Référence
Air	Photodégradation	$3,51 \times 10^{-11}$	Coefficient / $\text{cm}^3 \cdot \text{molécule}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$	Bierbach <i>et al.</i> , 1995 Howard, 1993
Eau	Photodégradation	6,00 à 6,72	Demi-vie photolytique (jours)	Présentation de projet, 2010
Eau	Biodégradation	93,5	Biodégradation aérobie ultime en 14 jours (%)	NITE, 2002
		96,3	Biodégradation aérobie ultime en 5 jours (%)	Pitter, 1976
		99 à 100	Biodégradation anaérobie ultime en 30 jours (%)	Benjamin <i>et al.</i> , 1984
Sol	Biodégradation	79 à 100 0,7 à 28,8	Biodégradation aérobie ultime en 63 jours (%) Demi-vie primaire calculée (heures)	Présentation de projet, 2010

Milieu	Processus du devenir	Valeur pour la dégradation	Paramètre et unités de la dégradation	Référence
		34,5 à 66,0 17,8 à 45,6	Biodégradation anaérobie ultime en 183 jours (%) Demi-vie primaire calculée (heures)	

Une biodégradation presque complète (100 %) a été déclarée au cours d'une période de 30 jours dans des systèmes de traitement par boues activées non acclimatées suivant une exposition de 580 mg/L au 2-furaldéhyde (Benjamin *et al.*, 1984). Cette biodégradation a cessé dans la culture non acclimatée à une concentration d'essai supérieure de 1 160 mg/L; toutefois, suivant une exposition à une solution d'environ 310 mg/L de 2-furaldéhyde pendant une période de 8 mois, la culture acclimatée pouvait biodégrader des concentrations allant jusqu'à 2 320 mg/L, dont 99 % de l'élimination de la substance a été observée après 32 jours.

Une biodégradation primaire extrêmement rapide du 2-furaldéhyde a été signalée dans des sols aérobies de loam sablonneux exposés à un taux d'application de 150 mg/kg, avec des demi-vies calculées variant de 0,7 à 28,8 heures et la substance étant minéralisée de 79 à 100 % en 63 jours (Présentation de projet, 2010). Le furan-2-ylméthanol et l'alcool furfurylique ont été identifiés comme des produits de dégradation primaire qui se sont rapidement dégradés, atteignant des niveaux non détectables en 8 heures et 14 jours, respectivement.

Des essais semblables dans des conditions anaérobies ont permis de calculer les demi-vies primaires de 17,8 à 45,6 heures, aucun 2-furaldéhyde n'étant détecté (limite de détection d'environ 0,1 mg/kg) dans les quatre sols de loam d'essai au 11^e jour de l'étude de 183 jours (Présentation de projet, 2010). La portée de la minéralisation (c.-à-d. la conversion de CO₂) variait de 34,5 à 66 % dans les sols d'essai, le furan-2-ylméthanol et l'alcool furfurylique étant de nouveau identifiés comme des métabolites primaires.

Ces études établissent la preuve que le 2-furaldéhyde se biodégradera dans des conditions aérobies et anaérobies, bien qu'une période d'acclimatation soit requise à des concentrations plus élevées de la substance. Dans l'ensemble, les données empiriques laissent entendre que le 2-furaldéhyde connaîtra des demi-vies de dégradation ultime dans l'eau et le sol de moins de 182 jours, et qu'il ne persistera ainsi probablement pas dans ces milieux environnementaux. De plus, les produits de dégradation primaire identifiés, le furan-2-ylméthanol et l'alcool furfurylique, se sont tous deux biodégradés rapidement au cours des essais dans le sol.

Bien que des données expérimentales soient disponibles sur la dégradation du 2-furaldéhyde, une méthode du poids de la preuve reposant sur des relations quantitatives structure-activité (RQSA) (Environnement Canada, 2007) a aussi été utilisée à l'aide des modèles de dégradation présentés au tableau 4b ci-dessous. Étant donné l'importance

écologique du milieu aquatique, le fait que la plupart des modèles disponibles s'appliquent à l'eau, sans oublier le fait que le 2-furaldéhyde devrait être libéré dans ce milieu, la biodégradation dans l'eau est celle qui a surtout été étudiée.

Le tableau 4b résume les résultats de la dégradation dans divers milieux naturels que prédisent les modèles RQSA disponibles.

Tableau 4b. Données modélisées sur la dégradation du 2-furaldéhyde

Processus du devenir	Modèle et base du modèle	Résultat et prévision du modèle	Demi-vie extrapolée (jours)
AIR			
Oxydation atmosphérique	AOPWIN, 2008 ^a	$t_{1/2} = 0,3$ jour	< 2
Réaction avec l'ozone	AOPWIN, 2008 ^a	n.d. ^b	n.d.
EAU			
Hydrolyse	HYDROWIN, 2008 ¹	n.d. ²	n.d.
Biodégradation primaire			
Biodégradation (aérobie)	BIOWIN, 2008 ^a Sous-modèle 4 : enquête d'expert (résultats qualitatifs)	3,9 ^c « Se biodégrade rapidement »	< 182
Biodégradation ultime			
Biodégradation (aérobie)	BIOWIN, 2008 ^a Sous-modèle 3 : enquête d'expert (résultats qualitatifs)	3,0 ^c « Se biodégrade rapidement »	< 182
Biodégradation (aérobie)	BIOWIN, 2008 ^a Sous-modèle 5 : Probabilité linéaire MITI	0,9 ^d « Se biodégrade rapidement »	< 182
Biodégradation (aérobie)	BIOWIN, 2008 ^a Sous-modèle 6 : Probabilité non linéaire MITI	1,0 ^d « Se biodégrade rapidement »	< 182
Biodégradation (aérobie)	TOPKAT, 2004 Probabilité	1 ^d « Se biodégrade très rapidement »	< 182
Biodégradation (aérobie)	CATABOL, C2004-2008 % DBO (demande biochimique en oxygène)	% DBO = 66,8 « Se biodégrade rapidement »	< 182

^a EPISuite (2008)

^b n.d. : non disponible. Le modèle ne donne pas d'estimation pour ce type de structure.

^c Le résultat s'exprime par une valeur numérique de 0 à 5.

^d Le résultat s'exprime par un taux de probabilité.

Dans l'air, sa demi-vie prévue par oxydation atmosphérique de 0,3 jour (voir le tableau 4a) indique que le 2-furaldéhyde devrait s'oxyder rapidement dans l'air. Bien qu'il n'existe pas d'estimation de la demi-vie de la réaction de cette substance avec d'autres espèces photooxydantes dans l'atmosphère, comme l'ozone, AOPWIN (2008) souligne que cette réaction avec des radicaux nitrés pourrait être importante. Cependant, des réactions avec des radicaux hydroxyles devraient constituer le plus important processus régissant le devenir de cette substance dans l'atmosphère. Sa demi-vie de 0,3 jour, résultant des réactions avec ces radicaux hydroxyles, permet d'affirmer que le 2-furaldéhyde n'est pas persistant dans l'air.

Aucune estimation du taux d'hydrolyse n'est disponible concernant le 2-furaldéhyde selon les données empiriques présentées ci-dessus; cette substance ne devrait pas s'hydrolyser dans des conditions environnementales.

Les résultats de modélisation de la biodégradation correspondent bien aux données expérimentales obtenues, et permettent de prévoir que le 2-furaldéhyde se biodégradera rapidement dans l'eau, avec une demi-vie de loin inférieure à 182 jours. Par ailleurs, la petite taille moléculaire et l'absence de groupements fonctionnels extrêmement stables dans la molécule (tableau 1) appuient également cette dégradation rapide. Le modèle BIOWIN (2008) laisse entendre que les produits de dégradation primaire, le furan-2-ylméthanol (n° CAS 98-00-0) et l'alcool furfurylique (n° CAS 88-14-2), se biodégraderont rapidement dans des conditions aérobies et anaérobies.

Selon un ratio d'extrapolation de 1:1:4 pour la demi-vie associée à la biodégradation dans l'eau, le sol, les sédiments (Boethling *et al.*, 1995), la demi-vie de biodégradation ultime dans le sol prévue est également inférieure à 182 jours. Comme les données empiriques et modélisées soutiennent une demi-vie de biodégradation ultime dans l'eau de moins de 90 jours (voir les tableaux 4a et 4b), la demi-vie dans les sédiments est estimée à moins de 365 jours.

Ainsi, d'après les données empiriques et modélisées, le 2-furaldéhyde ne satisfait pas aux critères de persistance dans l'air, l'eau, le sol et les sédiments (demi-vie dans l'air ≥ 2 jours, demi-vies dans le sol et l'eau ≥ 182 jours et demi-vie dans les sédiments ≥ 365 jours), qui sont prévus dans le *Règlement sur la persistance et la bioaccumulation* (Canada, 2000).

Potentiel de bioaccumulation

Les valeurs expérimentales et modélisées du log K_{oe} de 0,41 et 0,83 du 2-furaldéhyde, respectivement, laissent entendre que cette substance chimique est peu bioaccumulable (voir le tableau 2 ci-dessus).

Puisque aucune donnée expérimentale sur les facteurs de bioaccumulation (FBA) ou de bioconcentration (FBC) pour le 2-furaldéhyde n'est disponible, une méthode prédictive a

été appliquée au moyen des modèles de FBA et de FBC disponibles, comme l'indique le tableau 5. Selon le *Règlement sur la persistance et la bioaccumulation* (Canada, 2000), une substance est bioaccumulable si son FBC ou son FBA est égal ou supérieur à 5 000; cependant, les mesures des FBA constituent la méthode privilégiée pour évaluer le potentiel de bioaccumulation des substances, et ce, parce que les FBC peuvent ne pas tenir adéquatement compte du potentiel de bioaccumulation des substances par l'alimentation, qui prédomine pour les substances ayant un $\log K_{oe}$ d'environ 4,0 (Arnot et Gobas, 2003). La modélisation cinétique du bilan massique est en principe considérée comme étant la méthode de prévision la plus fiable dans la détermination du potentiel de bioaccumulation car elle permet une correction pour le métabolisme dans la mesure où le $\log K_{oe}$ de la substance se situe dans le domaine de $\log K_{oe}$ du modèle. Comme la valeur du K_{oe} du 2-furaldéhyde est de loin inférieure à 4,0 (c.-à-d., 0,41 et 0,83), l'absorption directe à partir des milieux aqueux avoisinants devrait être prépondérante dans l'absorption alimentaire globale, par exemple celle qui se produit à la surface des branchies des organismes aquatiques. Même si les prévisions du tableau 5 tiennent compte de la biotransformation dans le corps entier, ce processus de perte ne devrait pas être une voie d'élimination considérable pour les poissons ou d'autres organismes aquatiques et ne produit pas ou peu d'effets sur les résultats calculés.

Tableau 5 : Données modélisées sur la bioaccumulation du 2-furaldéhyde

Organisme d'essai	Paramètre	Valeur (poids humide en L/kg)	Référence
Poisson	FBA	1,1	BCFBAF, 2008 Arnot et Gobas, 2003 (niveau trophique intermédiaire)
Poisson	FBC	1,1	
Poisson	FBC	3,2	BCFBAF, 2008 (Estimation en fonction de la régression)
Poisson	FBC	3,2	BBM avec facteurs atténuants, 2008

D'après les données modélisées disponibles, le 2-furaldéhyde ne répond pas au critère de bioaccumulation (FBC ou FBA \geq 5 000) énoncé dans le *Règlement sur la persistance et la bioaccumulation* (Canada, 2000).

Potentiel d'effets nocifs sur l'environnement

Évaluation des effets écologiques

Milieu aquatique

Les données expérimentales sur les effets écologiques du 2-furaldéhyde qui ont été utilisées pour évaluer les effets nocifs potentiels dans l'environnement aquatique au Canada sont présentées au tableau 6. Des données plus détaillées sur l'écotoxicité de cette substance sont disponibles auprès de l'Union européenne (2008) et du PISSC (2000).

Tableau 6. Données empiriques sur la toxicité pour les organismes aquatiques

Organisme d'essai	Type d'essai	Paramètre	Valeur (mg/L)	Référence
Poisson				
<i>Oncorhynchus mykiss</i> , truite arc-en-ciel	Toxicité aiguë (96 heures)	CL ₅₀ ^a	3,62	Présentation de projet, 2010
<i>Lepomis macrochirus</i> , crapet arlequin	Toxicité aiguë (96 heures)	CL ₅₀	5,8	Présentation de projet, 2010
<i>Cyprinodon variegatus</i> , mené tête-de-mouton	Toxicité aiguë (96 heures)	CL ₅₀	14	Présentation de projet, 2010
<i>Pimephales promelas</i> , tête-de-boule	Toxicité aiguë (96 heures)	CL ₅₀	20,6	Call et Geiger, 1992
	Toxicité chronique (33 jours)	CSEO ^b CMEO ^c	< 0,426 ^d 0,426	
	Toxicité chronique (32 jours)	CSEO CMEO	0,041 0,097	Présentation de projet, 2010
<i>Poecilia reticulata</i> , guppy	Toxicité aiguë (14 jours)	CL ₅₀	10,6 (log CL ₅₀ = 2,04) ^e	Deneer <i>et al.</i> , 1988
<i>Brachydanio rerio</i> , dard-perche	Toxicité chronique (12 jours)	CSEO	0,33 ^f	Witters, 2005
Invertébrés				
<i>Daphnia magna</i> , cladocère	Toxicité aiguë (24 heures)	CE ₅₀ ^g	29	Bringmann et Kühn, 1982
	Toxicité aiguë (48 heures)	CE ₅₀	19,9	Présentation de projet, 2010
	Toxicité aiguë (72 heures)	CL ₅₀	13	Hessov, 1975
	Toxicité chronique (21 jours)	CSEO CMEO	1,9 3,7	Palmer <i>et al.</i> , 2005
<i>Americamysis bahia</i> , mysis effilée	Toxicité aiguë (96 heures)	CL ₅₀	15	Présentation de projet, 2010
<i>Mysidopsis bahia</i> ^h , mysis effilée	Toxicité aiguë (96 heures)	CL ₅₀	10,6	Jop, 1987
<i>Crassostrea virginica</i> , huître de l'est	Toxicité aiguë (96 heures)	CE ₅₀	19	Présentation de projet, 2010
		CSEO	8,2	
		CMEO	13	

Algues				
<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i> , algues vertes	Toxicité chronique (96 heures)	CE ₅₀	29	Présentation de projet, 2010
<i>Lemna gibba</i> , lentille d'eau	Toxicité chronique (7 jours)	CE ₅₀ CSEO CME0	49 0,29 0,80	Présentation de projet, 2010
<i>Skeletonema costatum</i> , diatomée <i>Navicula pelliculosa</i> , diatomée <i>Anabaena flos-aquae</i> , algues bleues	Toxicité chronique (96 heures)	CE ₅₀	46 > 42 130	Présentation de projet, 2010
<i>Microcystis aeruginosa</i> , algues bleues <i>Scenedesmus quadricauda</i> , algues vertes	Toxicité chronique (8 jours)	CSEO	2,7 31	Bringmann et Kühn, 1978

^a CL₅₀ – Concentration d'une substance qu'on estime létale pour 50 % des organismes d'essai.

^b CSEO – Concentration sans effet observé, soit la concentration la plus élevée ne causant pas d'effet statistiquement significatif par rapport au groupe témoin dans un essai de toxicité.

^c CME0 – La concentration minimale avec effet observé est la concentration la plus faible d'une substance causant des effets statistiquement significatifs par rapport au groupe témoin dans un essai de toxicité.

^d Des effets significatifs ont été observés à la concentration la plus faible mise à l'essai. Par conséquent, une CSEO n'a pu être établie dans le cadre de l'étude.

^e La valeur de CL₅₀ a été déclarée à 109,6 µmol/L.

^f La valeur représente la meilleure estimation de la concentration d'exposition réelle, qui correspond à une concentration nominale de 0,5 mg/L. D'après cette CSEO, la CME0 nominale était de 1,0 mg/L.

^g CE₅₀ – Concentration d'une substance qu'on estime susceptible de causer un effet chez 50 % des organismes d'essai.

^h Cette espèce a ultérieurement été renommée *Americamysis bahia*.

La pression de vapeur du 2-furaldéhyde est modérément élevée, et certains éléments indiquent une dégradation relativement rapide de la substance dans l'eau; une perte de la substance d'essai dans l'air pourrait donc se produire au cours d'un essai de toxicité aquatique. Pour cette raison, l'accent a été mis sur les études dont les concentrations d'exposition sont mesurées.

Le 2-furaldéhyde étant un aldéhyde, il présente une réactivité et une toxicité supérieures à celles d'un mode d'action toxique basé sur une narcose non polaire. Les paramètres de toxicité aiguë pour les poissons et les invertébrés aquatiques varient de 3 à 30 mg/L, ce qui indique que le 2-furaldéhyde est moyennement toxique pour les espèces aquatiques après une brève exposition. De plus longues périodes d'exposition pourraient entraîner des effets toxiques à des concentrations relativement faibles, comme l'établissent les paramètres de moins de 1 mg/L pour certaines espèces soumises à un essai (tableau 6). La tête-de-boule, *Pimephales promelas*, exposée pendant 33 jours aux concentrations nominales de 0,5 à 1,0 mg/L, présentait une croissance considérablement réduite, des anomalies morphologiques et des signes de léthargie à des concentrations égales et supérieures à la concentration d'essai minimale de 0,5 mg/L nominal (concentration moyenne mesurée de 0,426 mg/L; Call et Geiger, 1992). Les auteurs de la Présentation de projet (2010) ont fait état d'une concentration sans effet observé (CSEO) de 0,097 mg/L

(concentration moyenne mesurée) pour une longueur larvaire considérablement réduite chez les *P. promelas* exposés pendant 32 jours. Par ailleurs, Witters (2005) a signalé un taux de survie réduit et des effets négatifs sur la période d'incubation des œufs, le comportement larvaire et la morphologie des dards-perches, *Brachydanio rerio*, exposés aux concentrations nominales de 0,5 à 15 mg/L de 2-furaldéhyde durant une période de 12 jours.

Des réductions importantes en termes de reproduction et de croissance ont été observées chez les daphnies (*Daphnia magna*) exposées pendant 21 jours à une concentration mesurée de 3,7 mg/L (Palmer *et al.*, 2005).

Les concentrations moyennes avec effet chronique (CE₅₀) chez les algues variaient de 29 à 130 mg/L, et une CMEO de 0,80 mg/L a été signalée au niveau de la biomasse considérablement réduite des frondes chez les lentilles d'eau, *Lemna gibba*, après une période d'exposition de 7 jours (Présentation de projet, 2010). Ces données indiquent que le 2-furaldéhyde comporte une toxicité chronique faible à modérée pour les espèces d'algues.

Autres milieux naturels

On dispose de données empiriques sur la toxicité du 2-furaldéhyde pour des espèces vivant dans le sol, les abeilles mellifères et certains oiseaux (tableau 7). Les résultats indiquent que le 2-furaldéhyde comporte une toxicité chronique faible à modérée pour les espèces soumises aux essais.

Tableau 7. Données empiriques sur la toxicité pour les organismes terrestres

Organisme d'essai	Type d'essai	Paramètre (unités)	Valeur	Référence
<i>Eisenia foetida</i> , Lombric	Toxicité aiguë (14 jours)	CL ₅₀ ^a (mg/kg p.s.) ^b	406,18	Présentation de projet, 2010
<i>Folsomia candida</i> , <i>collembola</i> (collembole)	Toxicité chronique (28 jours)	CL ₅₀ CSEO ^c CMEO ^d (mg/kg p.s.)	54 37,5 ^e 75	Présentation de projet, 2010
<i>Apis mellifera</i> , abeille mellifère	Toxicité aiguë (voie orale) ^f (voie cutanée) ^g	DL ₅₀ ^h (substance d'essai en mg / abeille)	> 0,1 > 0,1	Présentation de projet, 2010
<i>Colinus virginianus</i> , colin de Virginie	Toxicité Aiguë ^f (voie orale)	DL ₅₀ (mg/kg p.c.) ⁱ	85	Présentation de projet, 2010
<i>Coturnix japonica</i> , caille du Japon	Toxicité Aiguë ^f (voie orale)	DL ₅₀ (mg/kg p.c.)	279,38	Présentation de projet, 2010

<i>Anas platyrhynchos</i> , canard colvert	Toxicité Aiguë ^f (voie orale)	DL ₅₀ (mg/kg p.c.)	360,09	Présentation de projet, 2010
<i>Agelaius phoeniceus</i> , carouge à épaulettes	Toxicité Aiguë ^f (voie orale)	DL ₅₀ (mg/kg p.c.)	> 98,0	Schafer <i>et al.</i> , 1983

^a CL₅₀ – Concentration d'une substance qu'on estime létale pour 50 % des organismes d'essai.

^b mg de substance d'essai par kg du poids sec (p.s.) du sol.

^c CSEO – Concentration sans effet observé, soit la concentration la plus élevée ne causant pas d'effet statistiquement significatif par rapport au groupe témoin dans un essai de toxicité.

^d CME0 – La concentration minimale avec effet observé est la concentration la plus faible d'une substance causant des effets statistiquement significatifs par rapport au groupe témoin dans un essai de toxicité.

^e Le protocole d'étude n'est pas directement applicable aux substances volatiles, et les résultats doivent ainsi être traités avec prudence. Par ailleurs, les concentrations d'exposition n'ont pas été mesurées au cours de l'essai.

^f Les essais consistaient en une seule dose orale, suivie d'une période d'observation de 14 jours.

^g Les essais consistaient en une seule dose par voie cutanée au niveau de l'abdomen ou du thorax, suivie d'une période d'observation de 48 heures.

^h Dose d'une substance qui entraîne le décès des organismes d'essai dans 50 % des cas.

ⁱ mg de substance d'essai par kg du poids corporel (p.c.) de l'oiseau.

Une concentration létale médiane (CL₅₀) de 406,18 mg/kg poids sec (p.s.) de sol a été calculée pour les vers de terre, *Eisenia foetida*, exposés pendant 14 jours à des concentrations d'essai de 225 à 864,4 mg de 2-furaldéhyde/kg p.s. de sol (Présentation de projet, 2010). Au cours d'un essai de 28 jours chez les collemboles, *Folsomia candida*, un taux de mortalité considérable et une production juvénile réduite ont été le résultat de concentrations dans le sol de 75 à 600 mg/kg p.s. (Présentation de projet, 2010). Une CL₅₀ de 54 mg/kg p.s. pour le taux de mortalité et une CME0 de 75 mg/kg p.s. pour le taux de mortalité et de reproduction ont été déterminées au cours de l'étude. Cependant, les auteurs notent que les résultats doivent être interprétés avec prudence, puisque le protocole utilisé (ISO 11267) spécifie que la méthode n'est pas applicable aux substances volatiles. Ainsi, dans le cadre de cette évaluation préalable, les données sont perçues comme étant des indicateurs qualitatifs, plutôt que quantitatifs, quant au potentiel de toxicité pour les espèces vivant dans le sol.

Des études de toxicité aiguë par voie orale (essai de limite) et de toxicité par voie cutanée ont été menées sur les abeilles mellifères, *Apis mellifera* L. (Présentation de projet, 2010). Dans les deux études, moins de 50 % des décès sont survenus à la concentration d'essai la plus élevée de 100 µg (0,1 mg) de 2-furaldéhyde par abeille. Les résultats indiquent que le 2-furaldéhyde est relativement non toxique pour les abeilles mellifères en fonction des catégories élaborées par Atkins *et al.* (1981), lesquelles sont couramment utilisées pour évaluer la toxicité des produits antiparasitaires (p. ex., OCDE, 2008).

La toxicité du 2-furaldéhyde a été déterminée comme étant modérée au cours d'un essai de toxicité standard sur plusieurs espèces d'oiseaux, dans lequel les valeurs de DL₅₀ par voie orale variaient de 85 à 360 mg/kg p.c. (tableau 7).

Par ailleurs, des études en laboratoire à l'aide de rongeurs et d'autres mammifères ont été effectuées sur le 2-furaldéhyde afin d'évaluer les effets potentiels sur la santé humaine et les données pertinentes de ces études sont présentées à la section Effets sur la santé humaine de la présente évaluation.

Évaluation de l'exposition de l'environnement

Le tableau 8 présente les données de surveillance nord-américaines pertinentes concernant le 2-furaldéhyde, tirées de publications. Comme cette substance est produite naturellement (voir la section Sources), des niveaux naturels peu élevés devraient toujours être présents dans l'environnement. Pour cette raison, il est parfois difficile de déterminer la contribution et les sources relatives de 2-furaldéhyde d'origine anthropique présentes dans un milieu.

Tableau 8. Concentrations de 2-furaldéhyde dans l'environnement en Amérique du Nord

Milieu	Lieu; année	N ^{bre} d'échantil lons	Concentration	Référence
Air				
Air extérieur dans les zones suburbaines	New Jersey, É.-U., 1992	Dans 7 sur 36 ^b	$2,4 \times 10^{-4}$ à $2,7 \times 10^{-3}$ mg/m ³ (0,06 à 0,69 ppb) $6,7 \times 10^{-4}$ mg/m ³ (moyenne : 0,17 ppb)	Zhang <i>et al.</i> , 1994
Feu couvant (vapeur d'eau)	Montana, É.-U., année non mentionnée	14	80 à 1 600 mg/kg	McKenzie <i>et al.</i> , 1995
Émissions de combustion de bois (composant volatil)	Colorado, É.-U., année non mentionnée	19	4 à 445 mg/kg	McDonald <i>et al.</i> , 2000
Eau				
Eau de surface	Lake Michigan, É.-U., 1977	Dans 1 sur 13 ^c	0,002 mg/L	Konasewich <i>et al.</i> , 1978
Eau de surface à proximité de sites industriels	É.-U., année non mentionnée	Dans 1 sur 204 ^d	0,002 mg/L	Ewing <i>et al.</i> , 1977
Eaux usées des usines de caoutchouc	Louisiane, É.-U., année non mentionnée	1	0,0017 mg/L	Keith, 1974
Eaux usées des fabriques de pâte à papier ^a	Washington, É.-U., année non mentionnée	5	179 à 471 mg/L (moyenne : 274 mg/L)	Benjamin <i>et al.</i> , 1984

¹ Une fraction de la vapeur d'eau du sulfite seulement.

² Limite de détection de 0,12 ppb.

³ Limite de détection non mentionnée.

⁴ Limite de détection de 1 ppb.

Comme la quantité de données de surveillance disponibles est très petite et possiblement désuète, une approche de modélisation a été utilisée pour estimer les concentrations potentielles dans l'environnement aquatique canadien. Étant donné que les plus importants rejets potentiels devraient être faits dans l'eau, un scénario de rejets industriels prudent a été élaboré au moyen de l'outil d'exposition générique industriel – milieu aquatique (Industrial Generic Exposure Tool – Aquatic, ou IGETA) d'Environnement Canada, afin d'estimer la concentration potentielle dans l'environnement aquatique canadien provenant des rejets industriels, ce qui donne une concentration environnementale estimée (CEE) de 0,008 mg/L. Pour plus de renseignements sur les données d'entrée utilisées pour arriver à cette estimation et les données de sortie du modèle, voir Environnement Canada (2009, 2010).

Caractérisation du risque écologique

La démarche suivie dans cette évaluation écologique préalable consistait à examiner les renseignements scientifiques disponibles et à tirer des conclusions suivant la méthode du poids de la preuve et le principe de prudence exigé en vertu de la LCPE (1999). Les éléments de preuve pris en compte comprennent les résultats d'un calcul du quotient de risque prudent ainsi que des renseignements sur la persistance, la bioaccumulation, la toxicité intrinsèque, les sources et le devenir de la substance dans l'environnement.

Comme il est décrit précédemment, le 2-furaldéhyde a une demi-vie relativement courte dans tous les milieux environnementaux (c.-à-d. qu'il se dégrade immédiatement dans le milieu). Il devrait également présenter un faible potentiel de bioaccumulation. La substance comporte une toxicité faible à modérée pour les espèces sauvages terrestres, bien qu'elle soit plus toxique pour certains rongeurs à la suite d'expositions répétées par voie orale (voir la section de la présente évaluation concernant les effets sur la santé humaine). Dans l'environnement, une dégradation rapide et un potentiel de bioaccumulation faible permettront de réduire de façon considérable le potentiel d'exposition au 2-furaldéhyde pour les espèces sauvages, ainsi les effets possibles sur la chaîne alimentaire.

Il a également été démontré que le 2-furaldéhyde peut causer des effets nocifs sur les organismes aquatiques sensibles exposés pendant de longues périodes de temps à des concentrations relativement faibles (c.-à-d. que les valeurs relatives aux effets chroniques sur certaines espèces sont considérablement inférieures à 1 mg/L). Alors que les rejets dans l'eau constituent la principale voie de pénétration du 2-furaldéhyde dans l'environnement (voir la section Rejets dans l'environnement), une analyse quantitative des risques potentiels pour les espèces aquatiques a été entreprise.

On a déterminé une valeur prudente de la concentration estimée sans effet (CESE) à partir de la plus faible de la valeur de toxicité en milieu aquatique, soit une CMEQ de 0,097 mg/L pendant un essai de toxicité chronique de 32 jours sur les tête-de-boule, *Pimephales promelas* (Présentation de projet, 2010). Un facteur d'évaluation a été appliqué à cette valeur critique de toxicité pour tenir compte des incertitudes liées à la variabilité interspécifique et intraspécifique de sensibilité et de l'extrapolation d'une

valeur sans effet mesurée sur le terrain à partir d'une valeur avec effet mesurée en laboratoire. Étant donné que la base de données empiriques concernant cette substance est exhaustive et que la valeur critique de toxicité n'est que l'un de deux paramètres inférieurs à 1 mg/L, laissant entendre qu'il s'agit déjà d'un paramètre très sensible, un facteur d'évaluation de 10 a été sélectionné. On obtient ainsi une valeur pour la CESE de 0,0097 mg/L.

Le quotient de risque prudent (CEE/CESE) de 0,8 en résultant indique qu'il est peu probable que les expositions environnementales soient suffisamment élevées pour être nocives pour les organismes aquatiques. Étant donné que la majorité des rejets de cette substance seraient émis dans l'eau sur des sites industriels de fabrication et comme les résultats de la modélisation de la fugacité montrent que la majeure partie de la substance rejetée dans l'eau restera dans ce milieu (tableau 3), il est peu probable que des organismes d'autres milieux soient exposés à la substance à la suite de son rejet dans les eaux de surface.

De plus, les concentrations dans l'air extérieur déclarées ($2,7 \times 10^{-3}$ mg/m³; tableau 8) sont beaucoup plus basses que la CMEQ de 20 mg/m³ indiquée dans des études en laboratoire sur les rongeurs) voir la section Effets sur la santé humaine de la présente évaluation).

À la lumière de ces renseignements, il est peu probable que le 2-furaldéhyde soit nocif pour les organismes aquatiques ou terrestres au Canada.

Cette conclusion a été tirée malgré les hypothèses prudentes énoncées en réponse aux incertitudes rencontrées dans l'évaluation. Une incertitude clé est liée au manque de données empiriques sur les concentrations environnementales actuelles au Canada, y compris la présence possible de la substance dans les effluents des fabriques de pâtes. Cette incertitude a été abordée par la considération d'une concentration prudente dans l'eau au moyen d'un modèle d'exposition industriel.

En outre, l'évaluation du potentiel de bioaccumulation est limitée en raison de l'absence de données empiriques sur la bioaccumulation, l'utilisation de modèles de prévision étant ainsi nécessaire. Même si les prévisions tirées de ces modèles comportent un certain degré d'erreur, les résultats modélisés correspondent aux propriétés physiques et chimiques reconnues de cette substance, notamment les valeurs mesurées et prévues du log K_{oe}.

Potentiel d'effets nocifs sur la santé humaine

Évaluation de l'exposition

Environnement et aliments

Les valeurs estimatives de la limite supérieure de l'absorption quotidienne de 2-furaldéhyde par la population générale canadienne sont présentées à l'annexe 1. Les valeurs estimatives totales quotidiennes variaient de 1,53 µg/kg p.c. par jour pour les enfants allaités et de 82,47 à 1 306 µg/kg p.c. par jour pour les adultes de 20 à 59 ans. Les aliments se sont avérés la principale source d'exposition à la substance.

Environnement

Aucune donnée n'a été déterminée pour les concentrations de 2-furaldéhyde dans l'air ambiant.

La concentration maximale de 0,69 ppb (2,7 µg/m³)² détectée dans 7 échantillons d'air ambiant sur 36, prélevés à proximité de six résidences d'une zone suburbaine au New Jersey au cours de l'été de 1992 (Zhang *et al.*, 1994) a servi de valeur de base pour l'absorption à partir de l'air ambiant. Une concentration plus basse de 2-furaldéhyde a été signalée dans l'air ambiant en Louisiane (Krause *et al.*, 2009), ainsi que dans 6 échantillons d'air ambiant sur 15, prélevés au Japon (plage : de 42 à 120 ng/m³) (Japan Environment Agency, 1998).

Du 2-furaldéhyde a été détecté, mais pas quantifié, dans un échantillon d'air ambiant prélevé dans un tunnel aux États-Unis (Hampton *et al.*, 1982), à proximité d'arbres *Pinus halepensis* en Algérie en 1997 (Yassaa *et al.*, 2000), et au-dessus du couvert forestier de la Southern Black Forest en 1984-1985 (Juttner, 1986).

Aucune donnée canadienne n'a été trouvée pour l'air intérieur. Les données sur les niveaux de 2-furaldéhyde dans l'air intérieur en Finlande et aux États-Unis sont présentées à l'annexe 2.

Du 2-furaldéhyde a été détecté dans l'air intérieur de 11 nouvelles maisons (4 maisons usinées, 7 maisons construites sur les lieux) dans l'est et le sud-est des États-Unis en 1997, entre 2 et 9 mois et demi après la fin des travaux de construction (la moyenne géométrique variait de 0,5 à < 1,5 ppb; de 1,965 µg/m³ à < 5,895 µg/m³) (Hodgson *et al.*, 2000). Dans une région suburbaine du New Jersey en 1992, du 2-furaldéhyde a été détecté dans 19 échantillons d'air intérieur sur 36, prélevés dans 6 maisons; la concentration moyenne était de 0,27 ppb (1,061 µg/m³) (Zhang *et al.*, 1994).

² 1 ppm = 3,393 mg/m³ (EU, 2008)

Krause *et al.* (2009) ont mené des enquêtes dans un nombre restreint de maisons en Floride et en Louisiane relativement aux composés organiques volatils. Dans une maison de Floride, du 2-furaldéhyde a été détecté dans trois échantillons sur six au cours d'une période de 24 heures au deuxième étage, à des concentrations de 1, 1,1 et 1,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dans une autre maison de Floride, des concentrations de 2,1 à 2,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ont été mesurées. Dans l'air intérieur, du 2-furaldéhyde a été détecté dans deux échantillons sur six, à des concentrations de 0,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En Louisiane, du 2-furaldéhyde a été détecté dans une maison sur trois (moyenne de 5 échantillons, 0,49 ppb par volume ou 1,926 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). La substance a également été détectée dans l'air ambiant à proximité de cette maison, dans un échantillon sur quatre (0,253 ppb en volume ou 0,994 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Du 2-furaldéhyde a été détecté dans 81 % des échantillons d'air intérieur de 26 maisons en Finlande (Kostiainen, 1995). Par la suite, des échantillons d'air ambiant ont été prélevés dans 50 maisons; la concentration moyenne de 2-furaldéhyde était de 1,56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (variant de 0,16 à 6,30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Bien qu'elles soient limitées, les données établies sur les concentrations de 2-furaldéhyde dans l'air intérieur sont cohérentes (voir l'annexe 2). La concentration moyenne la plus élevée³ mesurée dans onze nouvelles maisons aux États-Unis (Hodgson *et al.*, 2000) a été sélectionnée pour calculer les valeurs estimatives de la limite supérieure de 2-furaldéhyde dans l'air intérieur. Les valeurs moyennes déclarées aux fins de cette étude étaient supérieures à la concentration moyenne dans l'air intérieur signalée dans le cadre d'une étude de plus grande envergure (n = 50) dans des maisons en Finlande (Kostiainen, 1995).

Des concentrations de 2-furaldéhyde dans l'eau potable ont été recensées au Canada. Même si du 2-furaldéhyde a été détecté dans les réserves d'eau potable aux États-Unis et en Europe, les données relatives à la quantité n'ont pas été signalées (Kool *et al.*, 1982). Cette substance a été détectée dans l'eau potable dans l'Iowa (Lucas, 1984).

Des 204 échantillons d'eau de surface prélevés à proximité de zones fortement industrialisées aux États-Unis, un seul contenait du 2-furaldéhyde à une concentration de 2 ppb (2 $\mu\text{g}/\text{L}$) (Ewing *et al.*, 1977). Des 13 échantillons d'eaux de surface prélevés dans le bassin du lac Michigan, un seul contenait du 2-furaldéhyde à une concentration de 2 $\mu\text{g}/\text{L}$ (Konasewich *et al.*, 1978). Et des 33 échantillons d'eaux de surface prélevés au Japon en 1996, aucun ne contenait de 2-furaldéhyde (limite de détection = 0,4 ng/L) (Japan Environment Agency, 1998).

L'estimation de la quantité de 2-furaldéhyde ingérée par la population générale lorsqu'elle consomme de l'eau potable est fondée sur une concentration de 2 $\mu\text{g}/\text{L}$, détectée dans 1 des 13 échantillons d'eau de surface prélevés dans le bassin du lac Michigan (Konasewich *et al.*, 1978).

³ Les plages de concentrations ne sont pas indiquées par les auteurs.

Les données sur les concentrations de 2-furaldéhyde dans le sol, les sédiments et les poussières au Canada ou ailleurs n'ont pas été déterminées.

Aliments

De nombreux produits alimentaires contiennent du 2-furaldéhyde. Cette substance est naturellement présente et peut également se former au cours du processus thermique (c.-à-d. la cuisson par hydrolyse acide ou le réchauffement des polysaccharides contenant des fragments de pentose et d'hexose) (UE, 2008). Le 2-furaldéhyde a été mesuré à différentes concentrations dans tous les groupes alimentaires, y compris les fruits et légumes, les produits laitiers, les viandes et les poissons, le café, les boissons alcoolisées, le pain et les produits panifiés. Les annexes 3 et 4 présentent les données disponibles sur les concentrations de 2-furaldéhyde dans les aliments. Les estimations de l'absorption de 2-furaldéhyde à partir des aliments et des boissons sont présentées à l'annexe 1, et les détails relatifs à l'évaluation se trouvent aux annexes 5 et 6.

L'évaluation sur l'exposition alimentaire au 2-furaldéhyde indique que le café est le produit principal qui entraîne une consommation élevée par la population, suivi du vin. Par conséquent, une plage de niveaux d'absorption (basés sur les valeurs inférieure et supérieure du café) est présentée. L'annexe 6 répertorie les produits alimentaires et les niveaux correspondants de 2-furaldéhyde utilisés dans l'évaluation sur l'exposition alimentaire. En raison de la grande variabilité des niveaux de 2-furaldéhyde contenus dans chaque catégorie d'aliments, l'absorption de la population à partir des aliments et des boissons devrait être très variable, mais l'absorption la plus importante devrait concerner les individus qui consomment du café et des boissons alcoolisées. Du 2-furaldéhyde a été détecté dans le lait maternel (Erickson *et al.*, 1980; Pellizzari *et al.*, 1982); toutefois, des données quantitatives ne sont pas disponibles, et les estimations de 2-furaldéhyde dans le lait maternel n'ont ainsi pas été prises en considération dans l'évaluation sur l'exposition alimentaire.

L'apport quotidien total de 2-furaldéhyde provenant des aliments varie de 37,76 µg/kg p.c. par jour chez les enfants nourris au lait maternisé (qui représente 96,3 % de l'apport quotidien total de toutes les sources) à 82,41 à 1 306 µg/kg p.c. par jour (qui représente les valeurs inférieure et supérieure du café) chez les adultes de 20 à 59 ans (qui représente jusqu'à 99,9 % de l'apport quotidien total de toutes les sources). Ces estimations sont du même ordre de grandeur que les estimations de la FEMA (l'ingestion quotidienne potentielle totale de 2-furaldéhyde et de ses précurseurs naturellement présents dans les aliments est estimée à environ 300 µg/kg p.c. par jour) (UE, 2008).

Cet apport alimentaire représente la limite supérieure estimée des concentrations naturellement présentes dans les produits alimentaires. Il convient de reconnaître que le 2-furaldéhyde pourrait être présent dans les aliments à la suite de son utilisation comme aromatisant. Toutefois, bien qu'ils soient limités, les renseignements disponibles indiquent que le 2-furaldéhyde serait ajouté intentionnellement aux aliments à de très faibles niveaux. Ces renseignements sont corroborés par une évaluation effectuée par le Comité d'experts FAO/OMS sur les additifs alimentaires (JECFA), qui a évalué les

risques associés à l'utilisation de 2-furaldéhyde comme additif alimentaire et estimé les « niveaux d'absorption actuels » à 9 µg/kg p.c. par jour aux États-Unis et à 8 µg/kg p.c. par jour en Europe (OMS, 2001). Le JECFA a pris en considération que l'absorption provenant de l'utilisation comme additif alimentaire représente de 1 à 3 % de l'apport total de toutes les sources (OMS, 1999).

L'Union européenne a publié une évaluation des risques du 2-furaldéhyde en 2008, dans laquelle les risques liés à l'utilisation du 2-furaldéhyde comme additif alimentaire ont été évalués. L'absorption de 2-furaldéhyde provenant de son utilisation comme aromatisant, calculée par le JECFA, a été déclarée à 9 µg/kg p.c. par jour, et l'apport quotidien maximal théorique à 136 µg/kg p.c. (EURAR, 2008). Cette valeur est fondée sur l'hypothèse voulant que la population consomme en tout temps tous les aliments aromatisés suivant les concentrations maximales autorisées de 2-furaldéhyde. Dans le rapport de l'Union européenne, l'apport quotidien maximal est rendu comme la pire estimation dont l'ordre de grandeur pourrait être supérieur à l'apport réel.

Produits de consommation

Les rapports sur le 2-furaldéhyde comme un ingrédient dans les produits de consommation au Canada n'ont pas été recensés. La substance pourrait être présente comme un composant des huiles essentielles utilisées comme parfums dans les produits cosmétiques, les produits de soins personnels et les produits de consommation.

L'EU (2008) a présenté des estimations sur l'absorption de 2-furaldéhyde à partir des produits de soins personnels (annexe 7). L'absorption la plus élevée était de 0,36 µg/kg p.c. par jour, pour l'application d'eau de toilette par un individu de 60 kg; l'absorption totale estimée à partir des produits de soins personnels était d'environ 1 µg/kg p.c. par jour.

La Danish Environmental Protection Agency (2004) a déclaré que du 2-furaldéhyde était rejeté de l'oliban enflammé et non enflammé. Les vapeurs de six types d'oliban en ignition ont été analysées. Les concentrations prévues dans une salle hypothétique de 20 m³ variaient de 2,2 à 16,7 µg/m³.

Englund *et al.*, (1996) a mesuré les émissions de planchers de bois traités avec des huiles et des cires. Du 2-furaldéhyde a été détecté dans l'un des trois produits (une cire). Le taux d'émission était de 0,003 mg/m²/heure, 3 jours suivant le traitement. 14 jours après le traitement, aucune substance n'a été détectée.

La Danish Environmental Protection Agency (2005) a effectué des analyses sur 15 jouets recouverts de bois en surface, destinés aux enfants de trois ans et moins. L'étude était axée sur les jouets recouverts de peinture, de teinture pour bois ou de laque. Des échantillons de deux grammes ont été déposés dans de la salive artificielle pendant deux heures, laquelle a ensuite été analysée. Plus de 100 substances ont été détectées. Du 2-furaldéhyde a été détecté dans 4 des 15 échantillons, à des concentrations variant de 0,5 à 4,6 µg/g. Selon les analyses effectuées sur les recouvrements en surface des jouets,

la Danish Environmental Protection Agency (2005) a estimé que l'absorption de 2-furaldéhyde la plus élevée provenant de cette source chez les enfants de trois ans et moins serait de 1,5 µg/kg p.c. par jour.

Évaluation des effets sur la santé

L'annexe 8 comporte un résumé des renseignements disponibles sur les effets du 2-furaldéhyde sur la santé.

Le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) a classé le 2-furaldéhyde comme une substance cancérogène du groupe 3 (substances inclassables quant à leur cancérogénicité pour l'homme) en raison « des preuves inadéquates chez les hommes et des preuves insuffisantes chez les animaux de laboratoire quant à la cancérogénicité de cette substance ». L'Union européenne (UE, 2008) a classé la substance chimique dans la catégorie 3 pour la cancérogénicité (R40 – Effet cancérogène suspecté – preuves insuffisantes). Ces classifications sont surtout fondées sur l'observation d'une hausse du nombre de tumeurs chez certains animaux de laboratoire.

Dans une étude sur la cancérogénicité par voie orale, des souris ont reçu des doses de 0, 50, 100 ou 175 mg/kg p.c. par jour de 2-furaldéhyde par gavage (dans de l'huile de maïs) pendant 103 semaines (Irwin, 1990). Chez les souris mâles et femelles, on a pu constater une hausse d'adénomes hépatocellulaires, tandis que chez les souris mâles ayant reçu la dose la plus élevée, on a pu constater une hausse de carcinomes hépatocellulaires. Malgré une hausse du nombre de tumeurs du foie chez tous les groupes témoins, l'incidence élevée des tumeurs a été reliée au traitement. On a également observé une augmentation d'inflammations chroniques du foie liée à la dose chez les souris traitées.

Aucune effet de cancérogénicité n'a été observé chez des rats femelles ayant reçu des doses de 0, 30 ou 60 mg/kg p.c. par jour dans de l'huile de maïs pendant 103 semaines, cela par gavage; un type peu commun de cholangiocarcinomes et une dysplasie du canal cholédoque avec fibrose (considérée par l'auteur comme un stade primaire du développement d'un cholangiocarcinome) ont été observés chez 2 des 50 rats mâles traités à la plus forte dose (Irwin, 1990).

Au cours d'une étude d'une durée de 1 an sur l'inhalation, des hamsters ont été exposés au 2-furaldéhyde à des niveaux de 0 à 1 550 mg/m³ pendant 12 mois, puis de 29 semaines sans exposition (Feron et Kruyssen, 1978). Aucune preuve de cancérogénicité au niveau des voies respiratoires n'a été observée chez les animaux traités. Feron et Kruyssen (1978) ont également testé les effets cocancérogènes du 2-furaldéhyde. Des hamsters d'un groupe témoin distinct ont reçu par voie intratrachéale de 0,35 à 0,70 mg de benzo[*a*]pyrène chaque semaine pendant 12 mois, ou par injection sous-cutanée 0,125 µL de *N*-nitrosodiéthylamine (DNA) toutes les 3 semaines pendant 12 mois, tout en étant exposés à 970 ou 1 550 mg/m³ de 2-furaldéhyde. Le 2-furaldéhyde n'a pas accru les effets cancérogènes du benzo[*a*]pyrène ou du DNA (Feron et Kruyssen, 1978). Dans une autre étude limitée des effets cocancérogènes sur l'inhalation, des hamsters ont reçu par voie intratrachéale du 2-furaldéhyde (3 mg) avec ou sans benzo[*a*]pyrène (1 mg), ou

seulement du benzo[*a*]pyrène, chaque semaine pendant 36 semaines (Feron, 1972). Le traitement au 2-furaldéhyde n'a pas entraîné de tumeur, mais le traitement au 2-furaldéhyde combiné au benzo[*a*]pyrène, par rapport au traitement au benzo[*a*]pyrène, a provoqué le développement précoce des modifications métaplastiques de l'épithélium trachéobronchique, le raccourcissement de la période latente des tumeurs trachéobronchiques et l'augmentation du nombre de carcinomes squirrheux aux niveaux bronchiolaires et pulmonaires. Ces résultats laissent entendre des effets cocancérogènes du 2-furaldéhyde sur les voies respiratoires des hamsters (Feron, 1972).

Miyakawa *et al.* (1991) ont mené une étude sur les effets cocancérogènes par voie cutanée. Des souris ont été traitées localement à un dosage de 4,8 mg de 2-furaldéhyde deux fois par semaine, 5 fois par semaine, avec ou sans traitement subséquent au promoteur 12-*O*-tétradécanoylphorbol-13-acétate (TPA, 2,5 µg), deux fois par semaine pendant les 47 semaines suivantes. Dans cette étude à deux phases sur la cancérogénicité par voie cutanée, on a observé un plus grand nombre de tumeurs cutanées dans le groupe traité au 2-furaldéhyde et au TPA que dans le groupe traité au TPA seulement. Aucune tumeur cutanée n'a été constatée dans le groupe traité au 2-furaldéhyde seulement. Ces résultats laissent entendre que le 2-furaldéhyde pourrait comporter une activité d'initiation de tumeurs en présence d'un agent promoteur.

L'Union européenne a aussi examiné les effets du 2-furaldéhyde sur la santé et elle a conclu que les preuves de cancérogénicité sont insuffisantes. Dans l'examen des résultats de l'étude du NTP (Irwin, 1990), l'Union européenne a souligné les limitations des applications par gavage, qui peuvent générer des expositions élevées, et les limitations de l'utilisation de l'huile de maïs, associée aux changements morphologiques du foie d'animaux de laboratoire à la suite d'une exposition prolongée (UE, 2008).

La génotoxicité du 2-furaldéhyde a été évaluée au moyen d'une gamme d'essais *in vitro* et *in vivo*. L'annexe 8 présente un aperçu détaillé des résultats des études de génotoxicité disponibles; celles-ci sont résumées brièvement ici.

Le 2-furaldéhyde n'a pas entraîné de mutation bactériologique des *Salmonella typhimurium* TA98, TA102, TA104, TA1535 ou TA1537 avec ou sans activation métabolique, et les résultats globaux relatifs à la mutation des *S. typhimurium* TA100 étaient ambigus. Dans les cellules de mammifères, le 2-furaldéhyde a provoqué la mutation génique du locus thymidine kinase (*tk*) dans des cellules de lymphomes de souris L5178Y en l'absence d'activation métabolique. La substance a également entraîné des aberrations chromosomiques dans les cellules ovariennes (CHO) et pulmonaires de hamsters chinois, ainsi qu'un échange de chromatides sœurs des cellules CHO et des lymphocytes humains sans activation métabolique. Dans un système acellulaire, la substance a causé la rupture de l'ADN double brin de thymus de veau. On a également signalé qu'une inhibition de la synthèse non programmée de l'ADN (SNPA) a été observée dans les cellules HeLa S₃ et qu'une plus grande fréquence de l'oncogène activée a été détectée dans le foie des souris B6C3F1 traitées au 2-furaldéhyde. Cependant, rien n'indiquait une synthèse non programmée de l'ADN dans le foie des humains traités et dans le tissu épithélial des fosses nasales des rats traités.

Le 2-furaldéhyde ne s'est pas avéré génotoxique dans les essais *in vivo*. Dans un essai de mutation chez des souris transgéniques, aucune induction de mutation liée au traitement dans les hépatocytes n'a été observée chez les souris transgéniques CD2F₁ mâles traitées au 2-furaldéhyde par voie orale pendant 28 jours. Aucune induction de SNPA n'a été constatée dans le foie des souris B6C3F₁ et des rats F344 traités par voie orale de doses uniques de 2-furaldéhyde. La fréquence des aberrations chromosomiques et des échanges de chromatides sœurs n'a pas augmenté dans les cellules de la moelle osseuse des souris B6C3F₁ mâles ayant reçu des injections intrapéritonéales uniques de 2-furaldéhyde. L'injection, non pas l'application par voie orale, de 2-furaldéhyde aux *Drosophila melanogaster* adultes a entraîné une mutation létale récessive liée au sexe, mais n'a pas provoqué de translocations réciproques héréditaires. Dans une autre étude sur les *D. melanogaster* ayant reçu du 2-furaldéhyde par voie orale ou par injection, une perte partielle ou totale des chromosomes X ou Y a été constatée dans les cellules germinales mâles, à la suite d'un accouplement avec des femelles sans pouvoir de réparation, mais pas après un accouplement avec des femelles avec pouvoir de réparation. Toutefois, l'inhalation de 2-furaldéhyde a entraîné une hausse considérable liée à la dose de petites taches uniques et du total de taches dans les cellules somatiques des *Drosophila*, laquelle a été considérée comme une indication de l'induction de mutation.

D'après les preuves disponibles sur la mutagénicité, le groupe de travail du CIRC (1995) a conclu que le 2-furaldéhyde n'entraînait qu'une faible voire aucune mutagénicité chez les bactéries, mais qu'il endommageait l'ADN *in vitro*.

L'Union européenne a conclu que bien que le mode d'action par lequel les tumeurs observées dans les études à doses répétées n'a été entièrement élucidé, il ne concerne pas la génotoxicité. Par ailleurs, l'Union européenne a noté un rôle potentiel de cytotoxicité chronique découvert conjointement avec l'induction de tumeurs, et considère que les tumeurs du foie observées ont été induites par l'intermédiaire de mécanismes liés à la toxicité au foie, et qu'à des niveaux où aucune toxicité au foie n'est induite, les tumeurs ne se développeraient pas. Les effets sur le foie sont considérés comme les effets critiques liés à la caractérisation des risques par l'Union européenne (UE, 2008).

L'exposition au 2-furaldéhyde a également causé des effets non cancérigènes chez des animaux de laboratoire. Chez des rats exposés à des doses de 0 à 60 mg/kg p.c. par jour de 2-furaldéhyde par gavage pendant 103 semaines, on a observé une nécrose centro-lobulaire dans le foie des rats mâles et un plus grand nombre de congestions des poumons chez les rats femelles ayant reçu 30 mg/kg p.c. par jour et ceux ayant été soumis à la plus forte dose (Irwin, 1990). Le niveau des doses de 30 mg/kg p.c. par jour est considéré comme étant la dose minimale avec effet nocif observé (DMENO) par voie orale dans le cadre d'une exposition orale à doses répétées. Au cours d'une étude d'une durée de 14 jours par voie orale, activité réduite des glutamates pyruvates transaminases plasmatiques et un poids accru du foie ont été constatés chez les rats exposés par gavage au 2-furaldéhyde à des doses de 180 mg/kg p.c. par jour (la plus forte dose d'essai) (Jonker, 2000a, cité dans UE, 2008). Au cours d'une étude de détermination des doses, des rats mâles ont reçu des doses de 2-furaldéhyde par gavage pendant 13 semaines. Chez

les rats ayant reçu des doses de 0 à 180 mg/kg p.c. par jour de 2-furaldéhyde, une vacuolisation bénigne accrue du cytoplasme des cellules hépatiques a été observée chez les mâles ayant reçu des doses de 11 mg/kg p.c. par jour et ceux ayant reçu les plus fortes doses, sans accroissement de la gravité lié à la dose. Chez les souris ayant reçu des doses de 0 à 1 200 mg/kg p.c. par jour de 2-furaldéhyde, une nécrose centro-lobulaire et une inflammation subchronique multifocale du foie ont été constatées chez les mâles ayant reçu 150 mg/kg p.c. par jour. Toutefois, ces effets nocifs sur le foie ont été observés tant chez les mâles que chez les femelles ayant reçu 300 mg/kg p.c. par jour et plus (Irwin, 1990). Au cours d'une autre étude d'une durée de 13 semaines, des rats mâles ont reçu par voie alimentaire de 0 à 160 mg/kg p.c. par jour de 2-furaldéhyde, tandis que les femelles ont reçu des doses allant de 0 à 170 mg/kg p.c. par jour. Des changements mineurs au niveau du foie (y compris des cellules avec un cytoplasme moins épais et une agglutination des éosinophiles) et de légers effets sanguins ont été constatés chez les mâles ayant reçu des doses de 82 mg/kg p.c. par jour et plus (Jonker, 2000b, 2000c, cité dans UE, 2008). Cependant, dans deux études distinctes d'une durée de 28 jours par voie orale, aucun effet lié au traitement n'a été observé chez les rats F344 ayant reçu des doses de 0 à 192 mg/kg p.c. par jour (Appel, 2001), et aucun effet lié au traitement n'a été constaté chez les rats Sprague-Dawley ayant reçu des doses de 0 à 100 mg/kg p.c. par jour (Chengelis, 1997). On a en outre constaté une augmentation de la mortalité chez les rats et les souris exposés au 2-furaldéhyde par gavage pendant 16 jours. Chez les rats ayant reçu des doses de 0 à 240 mg/kg p.c. par jour, puis chez les souris ayant reçu des doses de 0 à 400 mg/kg p.c. par jour, on a observé une augmentation de la mortalité chez les rats comme chez les souris ayant reçu les plus fortes doses (240 et 400 mg/kg p.c. par jour, respectivement) (Irwin, 1990).

Des effets locaux sur les voies respiratoires et une augmentation de la mortalité ont été constatés chez les animaux de laboratoire ayant reçu du 2-furaldéhyde par inhalation. Dans le cadre d'une étude par inhalation à court terme, des rats ont été exposés à des concentrations de 0 à 1 280 mg/m³ de 2-furaldéhyde pendant 4 semaines. Une métaplasie et une hyperplasie ont été observées au niveau de l'épithélium respiratoire transitionnel, dans la partie antérieure du museau des rats ayant reçu des doses de 20 à 40 mg/m³. Une mortalité liée au traitement a été constatée à 640 mg/m³. Une concentration de 20 mg/m³ est considérée comme la concentration minimale avec effet nocif observé (CMENO) dans le cadre d'une exposition par inhalation à des doses répétées (Muijser, 2001; Arts *et al.*, 2004, tous cités dans UE, 2008). Dans le cadre d'une étude par inhalation d'une durée de 13 semaines, des hamsters ont été exposés à des concentrations de 0 à 2 165 mg/m³ de 2-furaldéhyde. Des effets liés au traitement sur les fosses nasales, notamment une atrophie de l'épithélium olfactif, une accumulation de cellules sensorielles dans la lamina propria, ainsi qu'un nombre de formations semblables à des kystes, ont été constatés chez les hamsters traités à des concentrations de 448 mg/m³ et plus (Feron *et al.*, 1979, 1984).

Une étude concernant l'absorption cutanée par doses répétées a été recensée. Des doses de 0 à 1 000 mg/kg p.c. par jour de 2-furaldéhyde ont été appliquées sur la peau rasée des rats pendant 28 jours. Des signes cliniques nocifs qui comprenaient une hypothermie, une hyperactivité et une immobilité des pattes arrières se sont présentés chez les rats mâles, puis une augmentation de la mortalité a été observée chez les rats mâles et femelles ayant

reçu des doses de 500 ou 1 000 mg/kg p.c. par jour. Aucun effet cutané n'a toutefois été constaté chez les rats exposés (cité dans USEPA, 2010).

Aucune étude pertinente concernant la toxicité de la substance pour la reproduction n'a été recensée. Au cours d'une étude menée sur la toxicité pour le développement, des rats Sprague-Dawley ont reçu des doses par gavage de 0 à 150 mg/kg p.c. par jour pendant les jours 6 à 15 de gestation. Le décès au cours des jours de gestation 6 à 18 de 3 femelles sur 25 faisant partie des groupes ayant reçu une dose modérée a été signalé, alors que celui de 16 femelles sur 25 faisant partie du groupe ayant reçu une forte dose a été déclaré. La dose minimale avec effet nocif observé pour toxicité maternelle était de 50 mg/kg p.c. par jour. À la plus forte dose (150 mg/kg p.c. par jour), une réduction du poids corporel fœtal moyen a été observée, mais le caractère significatif ou non de cet effet n'a pas pu être évalué adéquatement en raison du faible taux de survie des femelles à la plus forte dose d'essai, qui laisse entendre que l'effet fœtal pourrait être secondaire par rapport à la toxicité maternelle. Aucun effet tératogène n'a été signalé (Nemec, 1997).

Nomier *et al.* (1992) ont mené une étude sur la toxicocinétique du 2-furaldéhyde administré par voie orale chez des rats. Les résultats indiquent que le 2-furaldéhyde est rapidement absorbé par le tractus gastro-intestinal (GI) à des doses de 0,1 à 200 mg/kg p.c., et presque totalement excrété en 24 heures, surtout dans l'urine. Dans le cadre d'une autre étude toxicocinétique menée chez des humains, par inhalation et par voie cutanée, des métabolites de 2-furaldéhyde ont été considérés comme étant semblables à ceux qu'on trouve chez les rats, et la demi-vie du 2-furaldéhyde absorbé chez les humains était d'environ 2 à 2,5 heures et demie (Flek et Sedivec, 1978). Ces données indiquent que le 2-furaldéhyde absorbé sera excrété par le corps humain rapidement.

Trois études épidémiologiques dans des environnements professionnels ont été recensées. Dans le cadre d'une étude cas-témoins, 65 travailleurs d'une usine de fabrication de 2-furaldéhyde ont été examinés. Les concentrations atmosphériques de 2-furaldéhyde variaient de moins de 10 mg/m³ à 10 mg/m³ (enzymes hydrolysants), de 20 à 30 mg/m³ (à proximité des enzymes hydrolysants), et de 50 à 70 mg/m³ pendant de courtes périodes de temps à l'ouverture des enzymes hydrolysants aux fins de nettoyage. Les plaintes liées à la santé déposées par des travailleurs concernaient des maux de tête, des étourdissements, une fatigue générale, des irritations et des symptômes de dyspepsie. Vingt-six travailleurs présentaient une teneur en chlore réduite dans le sang. Une certaine dépression de l'activité de la cholinestérase a été observée dans le plasma sanguin et les érythrocytes. Cette étude n'indiquait pas clairement si les symptômes étaient apparus après un contact avec du 2-furaldéhyde ou s'ils existaient antérieurement. Aucune précision n'était fournie sur le groupe témoin, la conception de l'étude ou la méthodologie utilisée pour surveiller les concentrations de 2-furaldéhyde dans l'air (Vinogradova *et al.*, 1968 cité dans UE, 2008). Dans une deuxième étude concernant la surveillance de la mortalité chez les employés des usines de fabrication de produits de carbone, la mortalité de 2 219 employés masculins a été suivie de 1972 à 1983. Des six usines soumises à cette étude, une usine démontrait une mortalité excessive liée aux cancers respiratoires (5 cas observés, 1,4 cas prévu). Cet excès n'a pas été considéré dans les différences régionales des taux de mortalité. Les expositions les plus préoccupantes à

cette usine étaient les expositions au formaldéhyde, à la silice, au 2-furaldéhyde, à l'alcool furfurylique et à l'amiante. Aucune donnée n'était disponible sur les concentrations atmosphériques de ces substances. Les sujets étaient des fumeurs et avaient travaillé au moins 25 ans dans l'usine. Le rôle potentiel du 2-furaldéhyde dans la découverte d'un excès de cancers du poumon est inconnu, puisque les expositions aux produits chimiques et les facteurs confusionnels sont nombreux (Teta *et al.*, 1987). Dans une étude, dont les données relatives à l'exposition sont limitées, Gomez et Arroyo-Souza (1985) indiquent qu'aucune différence considérable n'a été notée entre le nombre d'échanges de chromatides sœurs chez les témoins non exposés et les travailleurs exposés au 2-furaldéhyde dans le cadre de leur profession.

Le niveau de confiance à l'égard de la base de données relative aux effets sur la santé du 2-furaldéhyde est jugé modéré, car on disposait de données pour déterminer les effets critiques devant servir à la caractérisation des risques. Cependant aucune étude sur la toxicité pour la reproduction n'a été recensée. De plus, on manquait d'études sur l'exposition cutanée relativement à la toxicité chronique, et d'études sur l'exposition par inhalation et par voie cutanée relativement à la toxicité pour le développement. Un nombre limité d'études épidémiologiques étaient en outre disponibles.

Caractérisation du risque pour la santé humaine

Le CIRC (1995) a classé le 2-furaldéhyde comme une substance cancérogène du groupe 3 (substances inclassables quant à leur cancérogénicité pour l'homme) en raison « des preuves inadéquates chez les hommes et des preuves insuffisantes chez les animaux de laboratoire quant à la cancérogénicité de cette substance ». L'Union européenne (UE, 2008) a classé la substance chimique dans la catégorie 3 pour la cancérogénicité, en raison des preuves insuffisantes sur l'effet cancérogène suspecté.

À la lumière des données disponibles sur la génotoxicité de cette substance ainsi que des conclusions d'autres organismes internationaux, il est peu probable que le 2-furaldéhyde soit génotoxique. Bien que certains essais *in vitro* aient donné des résultats positifs, aucune activité génotoxique n'a été observée au cours des études *in vivo*. Le 2-furaldéhyde n'a notamment pas entraîné de mutation génique dans le foie des souris transgéniques, et n'a pas produit de SNPA dans le foie des souris et des rats, où des tumeurs ont été observées. L'UE a conclu que même si le mode d'action n'a pas été complètement élucidé, les données disponibles indiquaient que les tumeurs au foie constatées chez les animaux de laboratoire ont été induites par un mécanisme lié à la toxicité au foie, plutôt qu'un mode d'action génotoxique, et, à des niveaux où aucune toxicité au foie n'était induite, aucune tumeur ne serait induite (UE, 2008). Par conséquent, une approche fondée sur le seuil d'innocuité a été utilisée afin de caractériser le risque pour la santé humaine.

À l'égard des effets non cancérogènes, la dose minimale avec effet nocif observé (DMENO) quant à l'exposition orale au 2-furaldéhyde était de 30 mg/kg p.c. par jour en fonction d'une nécrose centro-lobulaire observée dans le foie des rats d'une étude d'une durée de 2 ans, tandis que la concentration minimale avec effet nocif observé (CMENO)

quant à l'exposition orale était de 20 mg/m^3 , selon une au niveau de l'épithélium respiratoire transitionnel, dans la partie antérieure du museau des rats, dans le cadre d'une étude de 4 semaines.

La principale source d'exposition de l'ensemble de la population au 2-furaldéhyde devrait avoir lieu par l'entremise de l'alimentation. D'après les données disponibles, le 2-furaldéhyde provenant des sources naturelles représente jusqu'à 99,9 % de l'absorption totale par tous les groupes d'âge au Canada. Des absorptions de $37,76 \text{ } \mu\text{g/kg p.c.}$ chez les nourrissons et de $81,17 \text{ à } 1\,305 \text{ } \mu\text{g/kg p.c.}$ chez les adultes sont prévues à partir des aliments et des boissons. Étant donné que la source principale d'exposition par voie alimentaire vient de la présence naturelle de 2-furaldéhyde dans les aliments, le calcul des marges d'exposition pour l'exposition par l'alimentation n'était pas considéré comme étant significatif.

Environnement

D'autres sources d'exposition au 2-furaldéhyde par la population générale devraient provenir des milieux environnementaux (air ambiant, air intérieur et eau potable).

L'exposition par voie orale provenant des milieux environnementaux (p. ex., l'eau potable) devrait être minime par rapport aux concentrations de fond des aliments. La comparaison entre la concentration minimale avec effet nocif observé (CMENO) (20 mg/m^3) et la concentration la plus élevée de 2-furaldéhyde mesurée dans l'air intérieur (c.-à-d. $5,895 \text{ } \mu\text{g/m}^3$) donne une marge d'exposition approximative de 3 400. Cette marge d'exposition est jugée adéquate pour rendre compte des incertitudes liées aux bases de données concernant les effets sur la santé et l'exposition.

Produits de consommation

Même si le 2-furaldéhyde n'a pas été recensé dans les produits de consommation au Canada, il a été recensé dans des produits de consommation en Europe. L'EU (2008) a estimé que l'absorption totale provenant des produits de soins personnels est d'environ $1 \text{ } \mu\text{g/kg p.c.}$ par jour. La Danish Environmental Protection Agency (2005) a également estimé que l'apport le plus élevé de 2-furaldéhyde, provenant des jouets destinés aux enfants de 3 ans et moins, est de $1,5 \text{ } \mu\text{g/kg p.c.}$ par jour. La comparaison entre la dose minimale avec effet nocif observé (DMENO) (30 mg/kg p.c. par jour) et les niveaux d'exposition au 2-furaldéhyde provenant des produits de consommation, entraîne des marges d'exposition d'environ 30 000 pour les produits de soins personnels, et de 20 000 pour les jouets. Ces marges d'exposition sont jugées adéquates pour rendre compte des incertitudes liées aux bases de données concernant les effets sur la santé et l'exposition.

Incertitudes de l'évaluation des risques pour la santé humaine

La présente évaluation préalable ne contient pas d'analyse complète du mode d'induction des effets, y compris la cancérogénicité potentielle, qui sont associés à l'exposition au

2-furaldéhyde. Les données chez l'humain sont limitées en raison des détails insuffisants relativement aux protocoles d'étude et aux conditions d'exposition, ainsi que des facteurs confusionnels.

Le niveau de confiance à l'égard de la base de données sur laquelle sont fondées ces absorptions estimatives est modéré. Bien qu'un nombre limité d'études aient été recensées quant aux concentrations de 2-furaldéhyde dans l'air intérieur, la plage des concentrations déclarée correspond aux autres études. Les données disponibles sont suffisantes pour conclure que les valeurs sélectionnées représentent la plupart des groupes alimentaires et des estimations raisonnables de la limite supérieure de l'absorption. Cependant, les aliments constituent la principale source d'absorption chez tous les groupes d'âge de la population générale et peu de données sur les aliments au Canada ont été recensées. Notamment, les rapports sur le 2-furaldéhyde dans les formules de préparation pour nourrissons se limitaient aux données provenant de l'Espagne. On note également une ambiguïté liée aux absorptions estimatives élevées provenant des boissons, puisque peu de données ont été recensées à l'égard des boissons non alcoolisées. Dans l'ensemble, étant donné que les variations de la concentration naturelle de 2-furaldéhyde sont considérables dans la plupart des groupes alimentaires, les estimations de l'apport alimentaire sont très incertaines. Même pour un seul produit alimentaire, la variation est grande (par exemple, le café ou le vin). Par ailleurs, il existe une incertitude liée au traitement thermique des aliments ainsi que la portée de sa contribution à l'exposition alimentaire. À la lumière de ces faits, une variation considérable de l'absorption provenant des aliments a été observée chez tous les groupes d'âge.

Conclusion

D'après les renseignements disponibles, le 2-furaldéhyde ne pénètre pas dans l'environnement en une quantité, à une concentration ou dans des conditions de nature à avoir, immédiatement ou à long terme, un effet nocif sur l'environnement ou sur la diversité biologique, ou à mettre en danger pour l'environnement essentiel pour la vie. De plus, le 2-furaldéhyde ne répond pas aux critères de persistance et de bioaccumulation énoncés dans le *Règlement sur la persistance et la bioaccumulation* (Canada, 2000).

Vu le caractère adéquat des marges entre la tranche supérieure des estimations de l'exposition au 2-furaldéhyde et les concentrations associées à un effet critique, il est conclu que le 2-furaldéhyde ne pénètre pas dans l'environnement en une quantité, à une concentration ou dans des conditions de nature à constituer un danger au Canada pour la vie ou la santé humaines.

Par conséquent, il est conclu que le 2-furaldéhyde ne satisfait à aucun des critères énoncés à l'article 64 de la LCPE (1999). On envisagera d'inclure cette substance dans la mise à jour de l'inventaire de la Liste intérieure des substances. De plus, des activités de recherche et de surveillance viendront, le cas échéant, appuyer la vérification des hypothèses formulées au cours de l'évaluation préalable.

Références

- [ACGIH] American Conference of Governmental Industrial Hygienists. 1986. Documentation of threshold limit values and biological exposure indices. Cincinnati (OH) : American Conference of Governmental Hygienists.
- Adams T, Doull J, Goodman J, Munro I, Newberne P, Portoghese P, Smith R, Wagner B, Weil C, Woods L, *et al.* 1997. The FEMA GRAS assessment of furfural used as a flavour ingredient. *Food Chem Toxicol* 35(18):739–751.
- Aeschbacher HU, Wolleb, U, Loliger, J, Spadone, JC, Liardon R. 1989. Contribution of coffee aroma constituents to the mutagenicity of coffee. *Food Chem Toxicol* 27(4):227–232 [cité dans NLM, 2009].
- Alevantis L. 2003. Building material emissions study. Sacramento (CA) : State of California Integrated Waste Management Board [consulté le 29 mars 2010]. Accès : <http://www.calrecycle.ca.gov/Publications/GreenBuilding/43303015.pdf>.
- Almeida J, Bertilsson M, Gorwa-Grauslund M, Gorsich S, Liden G. 2009. Metabolic effects of furaldehydes and impacts on biotechnological processes. *Appl Microbiol Biotechnol* 82(4):625–638.
- [AOPWIN] Atmospheric Oxidation Program for Windows [modèle d'estimation]. 2008. Version 1.92. Washington (DC) : US Environmental Protection Agency, Office of Pollution Prevention and Toxics; Syracuse (NY) : Syracuse Research Corporation. Accès : www.epa.gov/oppt/exposure/pubs/episuite.htm.
- Appel MJ. 2001. Sub-acute (28-day) oral toxicity study with furfural in rats. Zeist (Pays-Bas) : TNO Nutrition and Food Research. Rapport V3155 de la TNO [cité dans UE, 2008].
- Arnot JA, Gobas FAPC. 2003. A generic QSAR for assessing the bioaccumulation potential of organic chemicals in aquatic food webs. *QSAR Comb Sci* 22(3):337-345.
- Aronson D, Howard PH. 1999. Evaluating potential POP/PBT compounds for environmental persistence. North Syracuse (NY) : Syracuse Research Corp., Environmental Science Centre. N° rapport : SRC-TR-99-020.
- Arts JHE, Muijser H, Appel JA, Bessems JGM, Woutersen RA. 2004. Sub-acute (28-day) toxicity of furfural in Fischer 344 rats: a comparison of the oral and inhalation route. *Food Chem Toxicol* 42(9):1389–1399 [cité dans UE, 2008].
- Atkins EL, Kellum D, Atkins KW. 1981. Reducing pesticide hazards to honey bees: mortality prediction techniques and integrated management strategies. Riverside (CA) : University of California, Division of Agricultural Sciences. Univ Calif Div Agric Sci Leaflet 2883.
- Baker RR, Bishop LJ. 2005. The pyrolysis of non-volatile tobacco ingredients using a system that simulates cigarette combustion conditions. *J Anal Appl Pyrolysis* 74:145–170.
- [BBM avec facteurs atténuants] Baseline Bioaccumulation Model. 2008. Gatineau (Qc) : Environnement Canada, Division de l'évaluation écologique. [Modèle élaboré selon celui de Dimitrov, *et al.*, 2005.] [Consulté en février 2010.] Disponible sur demande.
- [BCFBAF] Bioaccumulation Program for Windows [modèle d'estimation]. 2008. Version 3.00. Washington (DC) : US Environmental Protection Agency, Office of Pollution Prevention and Toxics; Syracuse (NY) : Syracuse Research Corporation. Accès : www.epa.gov/oppt/exposure/pubs/episuite.htm.
- [BDIM DPT] Base de données sur les ingrédients non médicinaux de la Direction des produits thérapeutiques. 2010. Base de données exclusive. Santé Canada.

[BDIPSN] Base de données sur les ingrédients des produits de santé naturels. 2010. Santé Canada. Accès : <http://www.hc-sc.gc.ca/dhp-mps/prodnatur/applications/online-enligne/nhpid-bipsn-fra.php>

[BDPP] Base de données sur les produits pharmaceutiques [en ligne]. 2010. Accès : <http://webprod.hc-sc.gc.ca/dpd-bdpp/language-langage.do?url=t.search.recherche&lang=fra>.

[BDPSNH] Base de données d'ingrédients de produits de santé naturels homologués. 2010. Santé Canada. Accès : <http://205.193.93.55/lnhpd-bdpsnh/start-debuter.do>.

Benjamin MM, Woods SL, Ferguson JF. 1984. Anaerobic toxicity and biodegradability of pulp mill waste constituents. *Water Res* 18(5):601-607.

Bierbach A, Barnes I, Becker KH. 1995. Product and kinetic study of the OH-initiated gas-phase oxidation of furan, 2-methylfuran and furanaldehydes at ≈ 300 K. *Atmos Environ* 29(19):2651-2660.

Binder R, Flath R. 1989. Volatile Components of Pineapple Guava. *J Agric Food Chem* 37:734-736 [cité dans NLM, 2009].

[BIOWIN] Biodegradation Probability Program for Windows [modèle d'estimation]. 2008. Version 4.10. Washington (DC) : US Environmental Protection Agency, Office of Pollution Prevention and Toxics; Syracuse (NY) : Syracuse Research Corporation. Accès : www.epa.gov/oppt/exposure/pubs/episuite.htm.

Boethling RS, Howard PH, Beauman JA, Larosche ME. 1995. Factors for intermedia extrapolations in biodegradability assessment. *Chemosphere* 30(4):741-752.

Bringmann G, Kühn R. 1978. Limiting values for the noxious effects of water pollutant material to blue algae (*Microcystis aeruginosa*) and green algae (*Scenedesmus quadricauda*) in cell propagation inhibition tests [en allemand]. *Vom Wasser* 50:45-60 [cité dans UE, 2008].

Bringmann G, Kühn R. 1982. Results of toxic action of water pollutants on *Daphnia magna* Straus tested by an improved standardized procedure [en allemand]. *Z Wasser Abwasser Forsch* 15(1):1-6 [cité dans UE, 2008].

Burdock G. 2010. Fenaroli's handbook of flavor ingredients. 6^e édition. Boca Raton (FL) : CRC Press. Furfural. p. 705-706.

Buttery RG, Ling LC, Stern DJ. 1994. Studies on flavour volatiles of some sweet corn products. *J Agric Food Chem* 42:791-794.

Buttery RG, Stern DJ, Ling LC. 1997. Studies on popcorn aroma and flavour volatiles. *J Agric Food Chem* 45(3):837-843.

Buttery RG, Orts WJ, Takeoka GR, Nam Y. 1999. Volatile flavour components of rice cakes. *J Agric Food Chem* 47(10):4353-4356.

Buttery RG, Seifert RM, Guadagni DG, Ling LC. 1969. Characterization of some volatile constituents of bell peppers. *J Agric Food Chem* 17(6):1322-1327.

Buttery RG, Seifert RM, Guadagni DG, Ling LC. 1971. Characterization of additional volatile components of tomato. *J Agric Food Chem* 19(3):524-529.

Call DJ, Geiger DL. 1992. Subchronic toxicities of industrial and agricultural chemicals to fathead minnows (*Pimephales promelas*). Vol. I. Superior (WI) : Center for Lake Superior Environmental Studies, University of Wisconsin-Superior.

Canada. 1978. *Règlement sur les aliments et drogues*. C.R.C., ch. 870. Accès : <http://laws.justice.gc.ca/fra/C.R.C.-ch.870/index.html>.

Canada. 1999. *Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999)*, L.C. 1999, ch. 33. *Gazette du Canada*, Partie III, vol. 22, n° 3. Accès : <http://www.gazette.gc.ca/archives/p3/1999/g3-02203.pdf>.

Canada. 2000. *Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999) : Règlement sur la persistance et la bioaccumulation*. C.P. 2000-348, 23 mars 2000, DORS/2000-107. Accès : <http://www.gazette.gc.ca/archives/p2/2000/2000-03-29/pdf/g2-13407.pdf>.

Canada. 2009. Lois du Canada 2009 : Chapitre 27 : *Loi modifiant la Loi sur le tabac* (projet de loi C-32). Accès : http://www.parl.gc.ca/HousePublications/Publication.aspx?Pub=Bill&Doc=C-32_4&Mode=1&Parl=40&Ses=2&Language=F.

Canada. Ministère de l'Environnement, ministère de la santé. 2006. *Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999) : Avis d'intention d'élaborer et de mettre en œuvre des mesures d'évaluation et de gestion des risques que certaines substances présentent pour la santé des Canadiens et leur environnement*. *Gazette du Canada*, Partie I, vol. 140, n° 49, p. 4109-4117. Accès : <http://www.gazette.gc.ca/archives/p1/2006/2006-12-09/pdf/g1-14049.pdf>.

Canada. Ministère de l'Environnement, ministère de la Santé. 2009a. *Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999) : Avis de dixième divulgation d'information technique concernant les substances identifiées dans le Défi*. *Gazette du Canada*, Partie I, vol. 143, n° 25, p. 2858-2863. Accès : <http://gazette.gc.ca/rp-pr/p1/2009/2009-09-26/pdf/g1-14339.pdf#page=8>.

Canada. Ministère de l'Environnement. 2009b. *Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999) : Avis concernant les substances du groupe 11 du Défi*. *Gazette du Canada*, Partie I, vol. 143, n° 39, p. 2865-2888. Accès : <http://gazette.gc.ca/rp-pr/p1/2009/2009-09-26/pdf/g1-14339.pdf#page=8>.

[CATABOL] Probabilistic assessment of biodegradability and metabolic pathways [modèle informatique]. c2004-2008. Version 5.10.2. Bourgas (Bulgarie) : Bourgas Prof. Assen Zlatarov University, Laboratory of Mathematical Chemistry. Accès : <http://oasis-lmc.org/?section=software&swid=1>.

Cha Y, Cadwaller K. 1995. Volatile components in salt-fermented fish and shrimp pastes. *J Food Sci* 60(1):19-24.

Chang S, Peterson R. 1977. Symposium: The basis of quality in muscle foods. Recent developments in the flavour of meat. *J Food Sci* 42(92):298-305.

Chang S, Vallese F, Hwang L, Hseih O, Min D. 1977. Apparatus for the isolation of trace volatile constituents from foods. *J Agric Food Chem* 25(3):450-455.

Chavez-Servin J, Castellote A, Lopez-Sabater M. 2005. Analysis of potential and free furfural compounds in milk-based formulae by high-performance liquid chromatography. Evolution during storage. *J Chromatogr A* 1076:133-140.

Chavez-Servin J, Castellote A, Lopez-Sabater M. 2006. Evolution of potential and free furfural compounds in milk-based infant formula during storage. *Food Res Int* 39:536-543.

Chavez-Servin J, Castellote A, Martin M, Chifre R, Lopez-Sabater M. 2009. Stability during storage of LC-PUFA-supplemented infant formula containing single cell oil of egg yolk. *Food Chem* 113:484-492.

Chengelis CP. 1997. A 28-day repeated dose oral toxicity study of furfural in rats. Ashland (OH) : WIL Research Laboratories, Inc., numéro de projet WIL-12367 [cité dans UE, 2008].

Chung H. 1999a. Volatile Components in Crabmeats of *Charybdis feriatus*. *J Agric Food Chem* 47:2280–2287 [cité dans NLM 2009].

Chung H. 1999b. Volatile Components in Fermented Soybean (*Glycine max*) Curds. *J Agric Food Chem* 47:2690–2696 [cité NLM 2009].

[CIRC] Centre International de Recherche sur le Cancer. 1995. Volume 63. *Dry cleaning, some chlorinated solvents and other industrial chemicals*. Monographies du CIRC sur l'évaluation des risques de cancérogénicité pour l'homme. Lyon (France).

CIVO-TNO. 1994. *Volatile components in food – qualitative and quantitative data*. Maarse H, Visscher C. (éditeurs), vol. III. 6^e édition. Zeist (Pays-Bas) : TNO [cité dans Adams *et al.*, 1997].

Clayton GD, Clayton FE. 1981. *Patty's industrial hygiene and toxicology*. 3^e édition révisée. Hoboken (NJ) : J. Wiley and Sons, Inc.

Coleman EC, Ho CT, Chang SS. 1981. Isolation and identification of volatile compounds from baked potatoes. *J Agric Food Chem* 29:42-48.

Crain W, Tang C. Volatile components of roasted macadamia nuts. *J Food Sci* 41(1):207-208.

[CSAH] Comité scientifique sur l'alimentation humaine. 2003. Point de vue sur le furfural et le furfural diéthylacetal (émis le 2 décembre 2002) [en ligne]. SCF/CS/FLAV/FLAVOUR/11 ADD1 Final, 22 janvier. Accès : http://europa.eu.int/comm/food/fs/sc/scf/outcome_en.html.

[CSPCPNA] Comité scientifique des produits cosmétiques et des produits non alimentaires destinés aux consommateurs. 2004a. Information Letter 696. Europe – SCCNFP opinions on acetaldehyde, furfural, musk ketone and musk xylene [consulté le 1^{er} avril 2010]. Accès : http://www.ifaorg.org/files/documentspublished/1/en--us/IFLET/21547_IFLET_2004_06_28_IL696_-_Europe_--SCCNFP_opinions_on_Acetaldehyde,_Furfural,_Musk_ketone_and_musk_xylene.pdf.

[CSPCPNA] Comité scientifique des produits cosmétiques et des produits non alimentaires destinés aux consommateurs. 2004b. Opinion du Comité scientifique des produits cosmétiques et des produits non alimentaires destinés aux consommateurs concernant le FURFURAL. Adopté par le CSPCPNA lors de la 28^e rencontre plénière tenue le 25 mai 2004. SCCNFP/0822/04/ [cité dans UE, 2008].

[CSRSE] Comité scientifique des risques sanitaires et environnementaux. 2005. Point de vue du CSRSE sur le Risk Assessment Report on Furfural Human Health Part, n° CAS : 98-01-1, EINECS n°: 202-627-7. Adoptée par le CSRSE lors de la 3^e assemblée plénière du 28 janvier 2005.

Danish Environmental Protection Agency. 2004. Survey and emission of chemical substances from incense. Taastrup (Danemark) : Danish Technological Institute. Survey of Chemical Substances in Consumer Products No. 39.

Danish Environmental Protection Agency. 2005. Migration and health assesement of chemical substances in surface treated wooden toys. Taastrup (Danemark) : Danish Technological Institute. Survey of Chemical Substances in Consumer Products No. 60.

Daubert TE, Danner RP. 1989. Physical and thermodynamic properties of pure chemicals. Data compilation. Washington (DC) : Taylor and Francis [cité dans HSDB, 1983 –].

Day E, Anderson D. 1965. *J Agric Food Chem* 13:2-4 [cité dans NLM, 2009].

Deck R, Pokorny J, Chang S. 1973. Isolation and identification of volatile compounds from potato chips. *J Food Sci* 38(2):345-349.

Deneer JW, Seinen W, Hermens JLM. 1988. The acute toxicity of aldehydes to the guppy. *Aquat Toxicol* 12:185-192.

Diaz C, Conde J, Claverie C, Diaz, Trujillo J. 2003. Conventional enological parameters of bottled wines from the Canary Islands (Spain). *J Food Comp Anal* 16:49-56.

Dillon DM, McGregor DB, Combes RD, Zeiger E. 1992. Detection of mutagenicity in Salmonella of some aldehydes and peroxides. *Environ Mol Mutagen* 19(Suppl 20):15 [cité dans UE, 2008].

Dimitrov S, Dimitrova N, Parkerton T, Comber M, Bonnell M, Mekenyan O. 2005. Base-line model for identifying the bioaccumulation potential of chemicals. *SAR QSAR Environ. Res* 16(6):531-554.

Els S, Preston C, Appel M, Heckel F, Schreier P. 2006. Influence of technological processing on apple aroma analysed by high resolution gas chromatography-mass spectrometry and on-line gas chromatography-combustion/pyrolysis-isotope ratio mass spectrometry. *Food Chem* 98(2):269-276.

Engel KH, Flath, RA, Buttery, RG, Mon, TR, Ramming, DW and Teranishi, R. 1988. Investigation of volatile constituents in nectarines. 1. Analytical and sensory characterization of aroma components in some nectarine cultivars. *J Agric Food Chem* 36(3):549-553.

Englund F, Larsen A, Funch L, Saarela K, Tirkkonen T. 1996. Emissions of VOC from wooden floors, surface treated with oils and waxes. *Indoor Air '96 : Proceedings of the 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Nagoya, Japon. Vol. 3. p. 89-94.*

Environnement Canada. 2007. Guidance for conducting ecological assessments under CEPA, 1999, Science Resource Technical Series, Technical Guidance Module: QSARs. Document de travail préliminaire révisé. Gatineau (Qc) : Environnement Canada, Division de l'évaluation écologique.

Environnement Canada. 2008. Données sur les substances du lot 11 recueillies en vertu de l'article 71 de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999) : Avis concernant certaines substances identifiées dans le onzième lot du Défi*. Données préparées par Environnement Canada, Programme des substances existantes.

Environnement Canada. 2009. Guidance for conducting ecological assessments under CEPA, 1999, Science Resource Technical Series, Technical Guidance Module: The Industrial Generic Exposure Tool – Aquatic (IGETA). Document de travail. Gatineau (Qc) : Environnement Canada, Division de l'évaluation écologique. Document disponible sur demande.

Environnement Canada. 2010. Rapport IGETA : n° CAS 98-01-1 (inédit). Le 22 avril 2010. Gatineau (Qc) : Environnement Canada, Division de l'évaluation écologique. Disponible sur demande.

[EPIsuite] Estimation Programs Interface Suite for Microsoft Windows [modèle d'estimation]. 2008. Version 4.0. Washington (DC) : US Environmental Protection Agency, Office of Pollution Prevention and Toxics; Syracuse (NY) : Syracuse Research Corporation. Accès : <http://www.epa.gov/oppt/exposure/pubs/episuitedl.htm>.

[EQC] Equilibrium Criterion Model. 2003. Version 2.02. Peterborough (Ont.) : Trent University, Canadian Environmental Modelling Centre. Accès : <http://www.trentu.ca/academic/aminss/envmodel/models/EQC2.html>.

Erikson MD, Harris, BSH, Pellizzari, ED, Tomer, KB, Waddell, RD, Whitaker, DA. 1980. Acquisition and chemical analysis of mother's milk for selected toxic substances. Washington (DC) : US Environmental Protection Agency Office of Pesticides and Toxic Substances. EPA-560/13-80-029. p. 152 [cité dans NLM, 2009].

- Ewing BB, Chian ESK, Cook JC, Evans CA, Hopke PK. 1977. Monitoring to detect previously unrecognized pollutants in surface waters. Appendix: Organic analysis data. Washington (DC) : United States Environmental Protection Agency, Office of Toxic Substances. USEPA-560/6-77-015A [cité dans HSDB, 1983 et NLM, 2009].
- Feron VJ. 1972. Respiratory tract tumours in hamsters after intratracheal instillations of benzo(a)pyrene alone and with furfural. *Cancer Res* 32:28-36 [cité dans UE, 2008].
- Feron VJ, Kruijse A. 1978. Effects of exposure to furfural vapour in hamsters simultaneously treated with benzo(a)pyrene or diethylnitrosamine. *Toxicology* 11:127-144 [cité dans UE, 2008].
- Feron VJ, Kruijse A, Dreef-van der Meulen H. 1979. Repeated exposure to furfural vapour: 13-week study in syrian golden hamsters. *Zbl Bakt Hyg I Abt Orig B* 168:442-451 [cité dans UE, 2008].
- Feron VJ, Woutersen RA, Appelman LM. 1984. Epithelial damage and tumours of the nose after exposure to four different aldehydes by inhalation. In: Grosdanoff P. *et al.* (éditeurs). Problems of inhalatory toxicity studies. Munich (Allemagne) : MMV Medizin Verlag, p. 587-610 [cité dans UE, 2008].
- Ferrer E, Alegria A, Farre R, Abellan P, Romero F. 2002. High-performance liquid chromatographic determination of furfural compounds in infant formulas. Changes during heat treatment and storage. *J Chromatogr A* 947:85-95.
- Ferrer E, Alegria A, Farre R, Abellan P, Romero F. 2005. High-performance liquid chromatographic determination of furfural compounds during full shelf-life. *Food Chemistry* 89:639-645.
- Flek J, Sedivec V. 1978. The absorption, metabolism and excretion of furfural in man. *Int Arch Occup Environ Health* 41:159-168.
- Frattoni C, Bicchi C, Barettoni C, Nano G. 1977. Volatile flavor components of licorice. *J Agric Food Chem* 25(6):1238-1241.
- Furia T, Bellanca N. (éd.). 1975. *Fenaroli's Handbook of Flavor Ingredients*. Vol. 2. 2^e édition. Cleveland (OH) : The Chemical Rubber Co. [cité dans NLM, 2009].
- Galloway SM, Bloom AD, Resnick M, Margolin BH, Nakamura F, Archer P, Zeiger E. 1985. Development of standard protocol for *in vitro* cytogenetic testing with Chinese hamster ovary cells: comparison of results for 22 compounds in two laboratories. *Environ Mutagen* 7:1-51 [cité dans UE, 2008].
- Garde-Cerdan T, Lorenzo C, Carot J, Jabaloyes J, Esteve M, Salinas M. 2008. Statistical differentiation of wines of different geographic origin and aged in barrel according to some volatile components and ethylphenols. *Food Chem* 111(4):1025-1031.
- Gaspar E, Lopes F. 2009. Simple gas chromatographic method for furfural analysis. *J Chromatogr A* 1216(14):2762-2767.
- Giordano L, Calabrese R, Davoli E, Rotilio D. 2003. Quantitative analysis of 2-furfural and 5-methylfurfural in different Italian vinegars by headspace solid-phase microextraction coupled to gas chromatography-mass spectrometry using isotope dilution. *J Chromatogr A* 1017(1-2):141-149.
- Godelmann R, Limmert S, Kuballa T. 2008. Implementation of headspace solid-phase-microextraction-GC-MS/MS methodology for determination of 3-alkyl-2-methoxypyrazines in wine. *Eur Food Res Technol* 227:449-461.
- Gomez-Arroyo S, Souza V. 1985. *In vitro* and occupational induction of sister-chromatid exchanges in human lymphocytes with furfuryl alcohol and furfural. *Mutat Res* 156:233-238 [cité dans UE, 2008].

Gudi R, Schadly EH. 1996. *In vitro* mammalian cytogenetic test with an independent repeat assay. Bethesda (MD) : Microbiological Associates Inc., Laboratory Study Number G96AS33.335 [cité dans UE, 2008].

Hadi SM, Shahabuddin, Rehman A. 1989. Specificity of the interaction of furfural with DNA. *Mutat Re* 225:101-106 [cité dans UE, 2008].

Hampton C, Pierson W, Harvey T, Updegrove W, Marano R. 1982. Hydrocarbon gases emitted from vehicles on the road. I. A qualitative gas-chromatography mass-spectrometry survey. *Environ Sci Technol* 16:287–298 [cité dans PISSC, 2000].

Hansch C, Leo A, Hoekman D. 1995. Exploring QSAR. Hydrophobic, electronic, and steric constants. Washington (DC) : American Chemical Society.

Heer D, Heine D, Sauer U. 2009. Resistance of *Saccharomyces cerevisiae* to high concentrations of furfural is based on NADPH-dependent reduction by at least two oxidoreductases. *Appl Environ Microbiol* 75(24):7631-7638.

Heil J, Reifferscheid G. 1992. Detection of mammalian carcinogens with an immunological DNA synthesis-inhibition test. *Carcinogenesis* 13:2389-2394 [cité dans UE, 2008].

[HENRYWIN] Henry's Law Constant Program for Microsoft Windows [modèle d'estimation]. 2008. Version 3.20. Washington (DC) : US Environmental Protection Agency, Office of Pollution Prevention and Toxics; Syracuse (NY) : Syracuse Research Corporation. Accès : <http://www.epa.gov/oppt/exposure/pubs/episuite.htm>.

Hessov I. 1975. Toxicity of 5-hydroxymethylfurfural and furfural to *Daphnia magna*. *Acta Pharmacol et Toxicol* 37:94-96.

Ho CT, Lee KN, Jin QZ. 1983. Isolation and Identification of Volatile flavour compounds in fried bacon. *J Agric Food Chem* 31:336–342 [cité dans NLM, 2009].

Hodgson A, Rudd A, Beal D, Chandra S. 2000. Volatile organic compound concentrations and emission rates in new manufactured and site-built homes. *Indoor Air* 10(3):178-192.

Howard PH. 1993. *Handbook of environmental fate and exposure data for organic chemicals*. Volume IV. Solvents 2. Chelsea (MI) : Lewis Publishers.

[HSDB] Hazardous Substances Data Bank [base de données en ligne]. 1983 – Bethesda (MD) : US National Library of Medicine [révisée le 30 août 2006; consulté le 27 octobre 2009]. Accès : <http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/html>.

Hunter G, Bucek W, Radford T. 1974. Volatile components of canned alphonso mango. *J Food Sci* 39(5):900–903.

[HYDROWIN] Hydrolysis Rates Program for Microsoft Windows [modèle d'estimation]. 2008. Version 2.00. Washington (DC) : US Environmental Protection Agency, Office of Pollution Prevention and Toxics; Syracuse (NY) : Syracuse Research Corporation. Accès : <http://www.epa.gov/oppt/exposure/pubs/episuite.htm>.

Irwin R. 1990. NTP technical report on the toxicology and carcinogenesis studies of furfural in F344/N rats and B6C3F1 mice (gavage studies). Research Triangle Park (NC). US National Toxicology Program. NIH publication No. 90-2837 [cité dans UE, 2008].

[ISHOW] Information System for Hazardous Organics in Water. 1992. Base de données informatisée élaborée par l'USEPA et la University of Minnesota, Duluth (MN) : U.S. Environmental Protection Agency et University of Minnesota.

Japan Environment Agency. 1998. Chemicals in the environment, éd. 1997. Tokyo (Japon) : Japan Environment Agency, Environmental Health and Safety Division [cité dans PISSC, 2000].

Jay K, Steiglitz L. 1995. Identification and Quantification of Volatile Organic components in emissions of waste incineration plants. *Chemosphere* 30:1249–1260 [cité dans NLM, 2009].

[JECFA] Comité mixte FAO/OMS d'experts des additifs alimentaires. 1993. WHO Food Additives Series 30. No. 761 : Furfural. Accès : <http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v30je16.htm>.

[JECFA] Comité mixte FAO/OMS d'experts des additifs alimentaires. 2000. Résumé des évaluations du Comité mixte FAO/OMS d'experts des additifs alimentaires. Furfural. Dernière évaluation : 2000. Accès : http://www.inchem.org/documents/jecfa/jeceval/jec_873.htm.

[JECFA] Comité mixte FAO/OMS d'experts des additifs alimentaires. 2001. WHO Food Additives Series 46, No, 995 : Furfural (addenda). Accès : <http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v46je02.htm>.

Johnson B, Waller G, Foltz R. 1971. Volatile components of roasted peanuts: neutral fraction. *J Agric Food Chem* 19(5):1025-1027.

Jonker D. 2000a. Dose-range finding study (14-day) with micro-encapsulated fufural in F344 rats. Rapport inédit. Zeist (Pays-Bas) : TNO. Rapport V98.1173 de la TNO [cité dans UE, 2008].

Jonker D. 2000b. Amendment 1 to the TNO-report V99.520: Sub-chronic (13 week) oral toxicity study in rats with micro-encapsulated furfural. Rapport inédit. Zeist (Pays-Bas) : TNO. Rapport V99.520 de la TNO [cité dans UE, 2008; JECFA, 2001]

Jonker D. 2000c. Sub-chronic (13 week) oral toxicity study in rats with micro-encapsulated furfural. Rapport V99.520 de la TNO (inédit). TNO Zeist (Pays-Bas) [cité dans UE, 2008].

Jop K. 1987. Mysid static acute bioassay with 2-furaldehyde. Toxicity test report. Duxbury (MA) : Battelle Ocean Sciences. 8 mai 1987. 2 p. *Inclus* : Battelle New England Marine Research Laboratory. 1987. Protocol for static acute toxicity tests with the mysid *Mysidopsis bahia*. Document présenté à la USEPA en mars 1987. 11 p.

Joseph SA. 2003. Acute dermal toxicity study of furfural in rats. Valvada, Gujrat (Inde) : Jai Research Foundation, Department of Toxicology. Étude n° 3950, date du 23 mai 2003. MRID 46011010.

Juttner F. 1986. Analysis of Organic Compounds (VOC) in the forest air of the Southern Black Forest. *Chemosphere* 15:985–992 [cité dans NLM, 2009].

Keith LH. 1974. Chemical characterization of industrial wastewaters by gas chromatography-mass spectrometry. *Sci Total Environ* 3:87-102.

Kermasha S, Goetghebeur M, Dumont J, Couture R. 1995. Analyses of phenolic and furfural compounds in concentrated and non-concentrated apple juices. *Food Res Int* 28(3):245-252.

Kinlin T, Muralidhara R, Pittet A, Sanderson A, Walradt J. 1972. Volatile components of roasted filberts. *J Agric Food Chem* 20(5):1021–1028.

Kleindienst T, Shepson P, Edney E, Claxton L, Cupitt L. 1986. Wood smoke – measurement of the mutagenic activity of its gas-phase and particulate-phase photooxidation products. *Environ Sci Technol* 20:493-501 [cité dans PISSC, 2000].

[KOCWIN] Organic Carbon Partition Coefficient Program for Windows [modèle d'estimation]. 2008. Version 2.00. Washington (DC) : US Environmental Protection Agency, Office of Pollution Prevention and Toxics; Syracuse (NY) : Syracuse Research Corporation. Accès : www.epa.gov/oppt/exposure/pubs/episuite.htm.

Konasewich D, Traversy W, Zar H. 1978. Status report on organic and heavy metal contaminants in the Lakes Erie, Michigan, Huron and Superior basins. Windsor (Ont.) : Conseil de la qualité de l'eau des Grands lacs [cité dans HSDB, 1983 et NLM, 2009].

Kool HJ, van Kreijl CF et Zoeteman, BCJ. 1982. Toxicology assessment of organic compounds in drinking water. *CRC Crit Rev Env Control* 12(4):307-357.

Kostiainen R. 1995. Volatile organic compounds in the indoor air of normal and sick houses. *Atmos Environ* 29(6):693-702.

Kottke R. 2000. Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology. Éd. 2005. Furan derivatives. New York (NY) : John Wiley and Sons [date d'affichage en ligne : 4 décembre 2000] [cité dans NLM, 2009].

[KOWWIN] Octanol-Water Partition Coefficient Program for Microsoft Windows [modèle d'estimation]. 2008. Version 1.67. Washington (DC) : US Environmental Protection Agency, Office of Pollution Prevention and Toxics; Syracuse (NY) : Syracuse Research Corporation. Accès : www.epa.gov/oppt/exposure/pubs/episuite.htm.

Krause D, Salazar R, Eldrege C. 2009. Results of indoor air testing in two homes experiencing copper corrosion associated with corrosive imported drywall. Rédigé pour le Florida Department of Health [consulté le 9 mars 2010]. Accès : <http://www.cpsc.gov/info/drywall/TabC.pdf>.

Lake BG, Edwards AJ, Price RJ, Phillips BJ, Renwick AB, Beamon JA, Adams TB. 2001. Lack of effect of furfural on DNA unscheduled DNA synthesis in the *in vivo* rat and mouse hepatocyte DNA repair assays and in precision-cut human liver slices. *Food Chem Toxicol* 39:999-1011 [cité dans UE, 2008].

Lewis RJ Sr. (éd.) 2000. *Sax's dangerous properties of industrial materials*. 10^e éd. New York (NY) : John Wiley & Sons, Inc.

Lewis R. (éd.) 2003. *Hawley's Condensed Chemical Dictionary*, 14^e édition. New York (NY) : John Wiley and Sons [cité dans NLM, 2009].

Lide DR. 2007-2008. *CRC handbook of chemistry and physics*. 88^e édition. Boca Raton (FL) : CRC Press.

Lin FM, Tan Y, Yuan YJ. 2009. Temporal quantitative proteomics of *Saccharomyces cerevisiae* in response to a nonlethal concentration of furfural. *Proteomics* 9(24):5471-5483

Linko Y, Johnson J, Miller B. 1962. The origin and fate of certain carbonyl compounds in white bread. *Cereal Chem* 39(6):468-476.

Lipari F, Dasch J, Scruggs W. 1984. Aldehyde emissions from wood-burning fireplaces. *Environ Sci Technol* 18:326-330 [cité dans PISSC, 2000].

Loquet C, Toussaint G, LeTalaer JY. 1981. Studies on mutagenic constituents of apple brandy and various alcoholic beverages collected in western France, a high incidence area for oesophageal cancer. *Mut Res* 88:155-164 [cité dans UE, 2008].

Lucas S. 1984. GC/MS analysis of organics in drinking water concentrates and advanced waste treatment concentrates. Vol. 3. Columbus (OH) : US Environmental Protection Agency. USEPA-600/1-84-020 [cité dans NLM, 2009].

Matejcek D, Mikes O, Klejduš B, Sterbova D, Kuban V. 2005. Changes in contents of phenolic compounds during maturing of barrique red wines. *Food Chem* 90(4):791-800.

Materna BL, Jones JR, Sutton PM, Rothman N, Harrison RJ. 1992. Occupational exposures in California wildland fire fighting. *Am Ind Hyg Assoc J* 53(1): 69–76 [cité NLM, 2009].

McDonald JD, Zielinska B, Fujita EM, Sagebiel JC, Chow JC, Watson JG. 2000. Fine particle and gaseous emission rates from residential wood combustion. *Environ Sci Technol* 34:2080-2091.

McGregor DB, Brown A, Cattanaich P, Edwards I, McBride D, Caspary WJ. 1988. Responses of the L5178Ytk+/tk- mouse lymphoma cell forward mutation assay II: 18 coded chemicals. *Environ Mol Mutag* 11:91–118 [cité dans UE, 2008].

McKenzie LM, Hao WM, Richards GN, Ward DE. 1995. Measurement and modeling of air toxins from smoldering combustion of biomass. *Environ Sci Technol* 29:2047-2054.

Miyakawa Y, Nishi Y, Kato K, Sato H, Takahashi M, Hayashi Y. 1991. Initiating activity of eight pyrolysates of carbohydrates in a two-stage mouse skin tumorigenesis model. *Carcinogenesis* 12(7):1169-1173 [cité dans UE, 2008].

[MPBPWIN] Melting Point Boiling Point Program for Microsoft Windows [modèle d'estimation]. 2008. Version 1.43. Washington (DC) : US Environmental Protection Agency, Office of Pollution Prevention and Toxics; Syracuse (NY) : Syracuse Research Corporation. Accès : www.epa.gov/oppt/exposure/pubs/episuite.htm.

Muchalal M, Crouzet J. 1985. *Agric Biol Chem* 49:1583-1589 [cité dans NLM, 2009].

Muijser H. 2001. A sub-acute (28-day) inhalation toxicity study with furfural in rats. Zeist (Pays-Bas) : TNO. Rapport V2874 de la TNO [cité dans UE, 2008].

Mussinani C, Walradt P. 1974. Volatile constituents of pressure cooked pork liver. *J Agric Food Sci* 22(5):827-831.

[NCI] National Chemical Inventories [base de données sur CD-ROM]. 2009. Issue 1. Columbus (OH) : American Chemical Society. Accès : <http://www.cas.org/products/cd/nci/index.html> [consultée le 28 octobre 2009].

Nemec A. 1997. Developmental toxicity study of furfural in rats. Ahsland (OH) : WIL Research Laboratories, Inc. Laboratory study number WIL-12378 [cité dans UE, 2008].

Nishi Y, Miyakawa Y, Kato K. 1989. Chromosome aberrations induced by pyrolysates of carbohydrates in Chinese hamster V79 cells. *Mutation Res* 227:117-123 [cité dans UE, 2008].

[NITE] National Institute of Technology and Evaluation [base de données sur Internet]. 2002. Comprehensive information for CAS RN 98-01-1. Tokyo [Japon] : NITE. Accès : http://www.safe.nite.go.jp/english/Haz_start.html [consultée le 6 novembre 2009]

[NLM] National Library of Medicine. 2009. Hazardous substances databank (HSDB). Furfural. HSDB No. 542 [consultée le 9 mars 2010]. Accès : <http://toxnet.nlm.nih.gov/>.

Nomeir AA, Silveira DM, McComish MF, Chadwick M. 1992. Comparative metabolism and disposition of furfural and furfuryl alcohol in rats. *Drug Metabolism and Disposition* 20(2):198-204.

Nozal M, Bernal J, Toribio L, Jimenez J, Martin M. 2001. High-performance liquid chromatographic determination of methyl anthranilate, hydroxymethylfurfural and related compounds in honey. *J Chromatogr A* 917(1-2):95-103.

[NTP] National Toxicology Program. 1990. TR-382. Toxicology and carcinogenesis studies of furfural (CAS No. 98-01-1) in F344/N rats and B6C3F1 mice (gavage studies). Accès : http://ntp-apps.niehs.nih.gov/ntp_tox/index.cfm.

[OCDE] Organisation de coopération et de développement économiques. 2008. Draft report to the UN sub-committee of experts on the GHS: terrestrial environmental hazards. Annex. Classification of hazards to the terrestrial environment. A review. Paris (France) : OCDE ENV/JM/HCL(2008)3. Accès : <http://www.oecd.org/dataoecd/13/18/41344882.pdf>.

[OMS] Organisation mondiale de la santé. 1999. Série Additifs Alimentaires de l'OMS n° 42 : Furaldehyde. Genève (Suisse) : OMS, p. 33-56.

O'Neil MJ, Heckelman PE, Koch CB, Roman KJ. 2006. *The Merck index. An encyclopedia of chemicals, drugs, and biologicals*. 14^e éd. Whitehouse Station (NJ) : Merck & Co., Inc.

Opdyke DLJ. 1978. Monographs on fragrance raw materials: furfural. *Food Cosmet Toxicol* 16:759 [cité dans UE, 2004].

Ortega-Heras M, Gonzalez-Sanjose M, Gonzalez-Huerta C. 2007. Consideration of the influence of aging process, type of wine and oenological classic parameters on the levels of wood volatile compounds present in red wines. *Food Chem* 103(4):1434-1448.

Palmer SJ, Kendall TZ, Krueger HO. 2005. Furfural: a flow-through life-cycle toxicity test with the cladoceran (*Daphnia magna*). Easton (MD) : Wildlife International Ltd. Rapport final. Numéro de projet : 566A-105A [cité dans UE, 2008].

Pareles S, Chang S. 1974. Identification of compounds responsible for baked potato flavour. *J Agric Food Chem* 22(2):339-340.

Pellizzari E, Hartwell T, Harris B, Waddell R, Whitaker D, Erikson M. 1982. Purgeable organic compounds in mothers' milk. *Bull Environ Contam Toxicol* 28:322-328 [cité dans PISSC, 2000].

Peterson R, Izzo H, Jungermann E, Chang S. 1975. Changes in volatile flavour compounds during the retorting of canned beef stew. *J Food Sci* 40:948-954.

[PISSC] Programme international sur la sécurité des substances chimiques. 2000. Concise International Chemical Assessment Document (CICAD) No. 21 on 2-furaldehyde. Accès : <http://www.inchem.org/pages/cicads.html>.

Pitter P. 1976. Determination of biological degradability of organic substances. *Water Res* 10:231-235.

Poisson L, Schmalzried F, Davidek T, Blank I, Kerler J. 2009. Study on the role of precursors in coffee flavour formation using in-bean experiments. *J Agric Food Chem* 57(21):9923-9931.

Présentation de projet. 2010. Projet non publié et confidentiel présenté à Environnement Canada, selon le Plan de gestion des produits chimiques. Disponible en tant que Sommaire de rigueur d'étude, n° 13365Submission021. Gatineau (Qc) : Environnement Canada, Division de la mobilisation et de l'élaboration de programmes.

Reynolds SH, Stowers SJ, Patterson RM, Maronport RR, Aaronson SA, Anderson MW. 1987. Activated oncogens in B6C3F1 mouse liver tumours: Implications for risk assessment. *Science* 237:1309-1316 [cité dans UE, 2004].

Rodgman A, Perfetti TA. 2009. The chemical components of tobacco and tobacco smoke. Boca Raton (FL) : CRC Press, p. 239.

Rodriguez-Arnaiz R, Romas-Morales P, Zimmering S. 1992. Evaluation in *Drosophila melanogaster* of the mutagenic potential of furfural in the mei-9a test for chromosome loss in germ-line cells and the wing spot test for mutational activity in somatic cells. *Mutat Res* 280:75-80 [cité dans UE, 2004].

Rowe EH, Tullos LF Jr. 1980. Lube solvents no threat to waste treatment. *Hydrocarbon Process* 59:63-65.

Santé Canada. 1998. Exposure factors for assessing total daily intake of priority substances by the general population of Canada. Rapport inédit. Ottawa (Ont.) : Santé Canada, Direction de l'hygiène du milieu.

Santé Canada. 2009. Guide de rédaction des formules de déclaration des cosmétiques. Version 2.0 : Bureau de la sécurité des produits de consommation. Accès : http://www.hc-sc.gc.ca/cps-spc/alt_formats/hecs-sesc/pdf/person/cosmet/info-ind-prof/_notification/guide-fra.pdf.

[SBSC] Santé et Bien-être social Canada. 1990. L'allaitement maternel au Canada : pratiques et tendances actuelles. Ottawa (Ont.) : ministère de la Santé nationale et du Bien-être social du Canada. N° de catalogue H39-199/1990E [cité dans Santé Canada, 1998].

Schafer EW Jr, Bowles WA Jr, Hurlbut J. 1983. The acute oral toxicity, repellency, and hazard potential of 998 chemicals to one or more species of wild and domestic birds. *Arch Environ Contam Toxicol* 12:355-382.

Schreyen L, Dirinck P, Van Wassenhove F, Schamp N. 1976. Volatile flavour components of leek. *J Agric Food Chem* 24(2):336-341.

Schultheiss J, Jensen D, Galensa R. 2000. Determination of aldehydes in food by high-performance liquid chromatography with biosensor coupling and micromembrane suppressors. *J Chromatogr A* 880(1-2):233-242.

Shahhidi F, Rubin L, D'Souza L. 1986. Meat flavor volatiles: a review of the composition, techniques of analysis, and sensory evaluation. *CRC Crit Rev Food Sci Nutr* 24:141-243.

Shaughnessy R. *et al.* 2001. *Environ Sci Technol* 35:2758-2764 [cité dans NLM, 2009].

Shibamoto T. *et al.* 1981. *J Agric Food Chem* 29:57-63 [cité dans NLM, 2009].

Shimizu A, Kanisawa M. 1986. Experimental studies on hepatic cirrhosis and hepatocarcinogenesis, I. Production of hepatic cirrhosis by furfural administration. *Acta Pathol Jpn* 36(7):1027-1038 [cité dans UE, 2008; SCAH, 2003].

Steenwinkel M-JST, Krul CAM. 2003. *In vivo* gene mutation study by use of *lacZ* transgenic mice with furfural. Zeist (Pays-Bas) : TNO Nutrition and Food Research, rapport V3934de la TNO [cité dans UE, 2008].

StichHF, Rosin MP, Wu CH, Powrie WD. 1981. Clastogenicity of furans found in food. *Cancer Lett.* 13:89-95 [cité dans UE, 2004].

Tatum J, Nagh S, Berry R. 1975. Degradation products formed in canned single-strength orange juice during storage. *J Food Sci* 40(4):707-709.

- Teta MJ, Ott MG, Schnatter AR. 1987. Population based mortality surveillance in carbon products manufacturing plants. *Br J Ind Med* 44:344-350 [cité dans UE, 2004].
- Thomas A. 1973. An analysis of the flavour of the dried mushroom, *Boletus edulis*. *J Agric Food Chem* 21(6):955-958.
- [TOPKAT] Toxicity Prediction by Komputer Assisted Technology [en ligne]. 2004. Version 6.1. San Diego (CA) : Accelrys Software Inc. Accès : <http://www.accelrys.com/products/topkat/index.html>.
- Tressel R, Bahri D, Holzer M, Kossa T. 1977. Formation of flavour components in asparagus. 2. Formation of flavour components in cooked asparagus. *J Agric Food Chem* 25(3):459-463.
- [UE] Union européenne. 2004. Risk Assessment on Furfural. N° CAS : 98-01-1; n° EINECS : 202-627-7. Ebauche d'octobre 2004. *R050_0410_hh*. Accès: <http://ecb.jrc.it/existing-chemicals>
- [UE] Union européenne. 2008. Risk assessment on Furfural. N° CAS : 98-01-1; n° EINECS : 202-627-7. Rapport final, février 2008. Accès : http://ecb.jrc.ec.europa.eu/DOCUMENTS/Existing-Chemicals/RISK_ASSESSMENT/REPORT/2furaldehydereport050.pdf.
- Underwood J. 1971. Effect of heat on the flavouring components of maple syrup: a preliminary study by gas chromatography. *J Food Sci* 36(2):228-230.
- [USEPA] United States Environmental Protection Agency. 2010. Furfural. Human health risk assessment for use on golf course turf (tees and greens) and sod farms. Office of Prevention, Pesticides and Toxic Substances. Accès : <http://www.regulations.gov/search/Regs/home.html#docketDetail?R=EPA-HQ-OPP-2009-0722>.
- Van Boekel MAJS. 1998. Effect of heating on Maillard Reactions in milk. *Food Chem* 62:403.
- Van Boekel MAJS, Rehman Z. 1987. Determination of hydroxymethylfurfural in heated milk by high-performance liquid chromatography. *Neth Milk Dairy J* 41:297-306.
- Vanderhaegen B, Neven H, Coghe S, Verstrepen K, Verachtert H, Derdelinckx G. 2003. Evolution of chemical and sensory properties during aging of top-fermented beer. *J Agric Food Chem* 51(23):6782-6790.
- Vesely P, Lusk L, Basarova G, Seabrooks J, Ryder D. 2003. Analysis of aldehydes in beer using solid-phase microextraction with on-fiber derivatization and gas chromatography/mass spectrometry. *J Agric Food Chem* 51(24):6941-6944.
- Vinogradova VK, Smirnova VG, Belyakov AA, Chernova LN, Osokina AP. 1968. Problems of labour hygiene and state of health of workers engaged in furfural production. *Gig Tr Prof Zabol* 12:7-10 [traduction en anglais citée dans UE, 2004].
- Walradt J, Pittet A, Tinlin T, Muralidhara R, Sanderson A. 1971. Volatile components of roasted peanuts. *J Agric Food Chem* 19(5):972-979.
- Wang P, Odell G. 1972. Characterization of some volatile constituents of roasted pecans. *J Agric Food Chem* 20(2):206-210.
- Wilmer JWGM, Leeman WR, Splinter A, Feron VJ. 1987. Induction of DNA repair in nasal epithelium by formaldehyde and other irritant aldehydes. In: Tyhiak E, Gullner G. (éditeurs). Proceedings of the 2nd International Conference on the role of formaldehyde in biological systems. Keszthely, Hongrie, 79 [cité dans UE, 2004].

Witters H. 2005. Fish, short-term toxicity test on embryo and sac-fry stages of zebrafish, *Brachydanio rerio*. Test substance: furfural. Mol (Belgique) : Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO). Rapport d'étude VITO FST 04001 [cité dans UE, 2008].

Woodruff RC, Mason JM, Valencia R, Zimmering S. 1985. Chemical mutagenesis testing in *Drosophila*. V. Results of 53 coded compounds tested for the National Toxicology Program. *Environ. Mutat* 7:677-702 [cité dans UE, 2004].

[WSKOWWIN] Water Solubility for Organic Compounds Program for Microsoft Windows [modèle d'estimation]. 2008. Version 1.41. Washington (DC) : US Environmental Protection Agency, Office of Pollution Prevention and Toxics; Syracuse (NY) : Syracuse Research Corporation. Accès : www.epa.gov/oppt/exposure/pubs/episuite.htm.

Yalkowsky SH, He Y. 2003. Handbook of aqueous solubility data: an extensive compilation of aqueous solubility data for organic compounds extracted from the AQUASOL database. Boca Raton (FL) : CRC Press LLC.

Yanagimoto K, Ochi H, Lee K, Shibamoto T. 2003. Antioxidative activities of volatile extracts from green tea, Oolong tea and black tea. *J Agric Food Chem* 51(25):7396-7401.

Yassaa N, Brancaleoni, E. 2000. Atmospheric Measurement Techniques, *Atmos Environ* 34:2809-2816 [cité dans NLM, 2009].

Yasuhara A, Kawada K., Shibamoto TG. 1998. Gas chromatographic/Mass Spectrometric Method for Analysis of Trace Carbonyl Compounds in Foods and Beverages. *J Agric Food Chem* 46:2664-2670 [cité dans NLM, 2009].

Zdzienicka M, Tudek B, Zieleńska M, Szymczyk T. 1978. Mutagenic activity of furfural in *Salmonella typhimurium* TA100. *Mutat Res* 58:205-209 [cité dans UE, 2008].

Zhang J, Liou PJ, He Q. 1994. Characteristics of aldehydes: concentrations, sources, and exposures for indoor and outdoor residential microenvironments. *Environ Sci Technol* 28(1):146-152.

Annexe 1. Estimations de la limite supérieure de l'absorption quotidienne de 2-furaldéhyde pour divers groupes d'âge de la population canadienne

Voie d'exposition	Absorption estimée ($\mu\text{g}/\text{kg p.c./j}$) de 2-furaldéhyde, par groupes d'âge							
	0 à 0,5 an ^{a,b,c}			0,5 à 4 ans ^d	5 à 11 ans ^e	12 à 19 ans ^f	20 à 59 ans ^g	60 ans et plus ^h
Nourris au lait maternel	Nourris au lait maternisé	Pas nourris au lait maternisé						
Air ambiant ⁱ	0,09	0,09	0,09	0,20	0,16	0,09	0,08	0,027
Air intérieur ^j	1,44	1,44	1,44	3,09	2,41	1,37	1,18	1,02
Eau potable ^k	n.d. ⁿ	n.d.	0,08	0,09	0,07	0,04	0,04	0,04
Sol ^l	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Aliments et boissons ^m	n.d.	37,76	189,9 à 190,0	139,7 à 171,9	112,4 à 205,4	72,39 à 404,4	81,17 à 1 305	66,06 à 1 003
Absorption quotidienne totale	1,53	39,29	191,5 à 191,6	143,1 à 175,3	115,0 à 209,0	73,89 à 406,0	82,47 à 1 306	67,19 à 1 005

^a Aucune donnée n'a été déterminée pour les concentrations de 2-furaldéhyde dans le lait maternel.

^b On présume que le nourrisson pèse 7,5 kg, respire 2,1 m³ d'air par jour, boit 0,8 L d'eau par jour (lait maternisé) ou 0,3 L d'eau par jour (lait non maternisé) et ingère 30 mg de sol par jour (Santé Canada, 1998).

^c Dans le cas des enfants uniquement nourris au lait maternisé, l'absorption par l'eau correspond à l'absorption par la nourriture. En ce qui concerne les enfants non nourris au lait maternisé, 50 % d'entre eux ont commencé à manger des aliments solides à 4 mois et 90 % ont commencé à 6 mois (Santé Canada, 1990).

^d En supposant que l'enfant pèse 15,5 kg, qu'il respire 9,3 m³ d'air par jour, qu'il boive 0,7 L d'eau par jour et qu'il ingère 100 mg de sol par jour (Santé Canada, 1998).

^e En supposant que l'enfant pèse 31 kg, qu'il respire 14,5 m³ d'air par jour, qu'il boive 1,1 L d'eau par jour et qu'il ingère 65 mg de sol par jour (Santé Canada, 1998).

^f En supposant que le jeune pèse 59,4 kg, qu'il respire 15,8 m³ d'air par jour, qu'il boive 1,2 L d'eau par jour et qu'il ingère 30 mg de sol par jour (Santé Canada, 1998).

^g En supposant que la personne pèse 70,9 kg, qu'elle respire 16,2 m³ d'air par jour, qu'elle boive 1,5 L d'eau par jour et qu'elle ingère 30 mg de sol par jour (Santé Canada, 1998).

^h En supposant que la personne pèse 72,0 kg, qu'elle respire 14,3 m³ par jour, qu'elle boive 1,6 L d'eau par jour et qu'elle ingère 30 mg de sol par jour (Santé Canada, 1998).

ⁱ Du 2-furaldéhyde a été détecté dans 7 échantillons d'air ambiant sur 36, prélevés à proximité de six résidences d'une zone suburbaine au New Jersey au cours de l'été de 1992 (Zhang *et al.*, 1994). Concentration maximale : 0,69 ppb (2,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$); (plage : 0,06 à 0,69 ppb). Une concentration plus basse a été signalée une seule mesure en Louisiane (Krause *et al.*, 2009). Les autres rapports sur le 2-furaldéhyde dans l'air ambiant étaient limités à la détection qualitative (Hampton *et al.*, 1982; Juttner, 1986; Yassaa *et al.*, 2000). Les concentrations minimales ont été déclarées par la Japan Environment Agency (1998).

^j Du 2-furaldéhyde a été recensé dans l'air intérieur de onze nouvelles maisons aux États-Unis en 1997, entre 2 et 9 mois et demi après la fin des travaux de construction (Hodgson *et al.*, 2000). Les concentrations moyennes géométriques variaient de 0,5 à < 1,5 ppb (de 1,965 à 5,895 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Les estimations d'absorption sont basées sur cette dernière concentration. Bien qu'une valeur individuelle légèrement plus élevée (6,30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ait été mesurée parmi des valeurs allant de 0,16 à 6,30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ au

cours d'une étude en Finlande (Kostiainen, 1995), la valeur moyenne de cette étude ($1,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$) était inférieure à celles qui ont été signalées par Hodgson *et al.* (2000). Les concentrations minimales de 2-furaldéhyde dans l'air intérieur ont été déclarées par Zhang *et al.* (1994) et par Krause *et al.* (2009).

^k Les concentrations de 2-furaldéhyde dans l'eau potable n'ont pas été recensées. Des 13 échantillons d'eaux de surface prélevés dans le bassin du lac Michigan, un seul contenait du 2-furaldéhyde à une concentration de $2 \mu\text{g}/\text{L}$ (Konasewich *et al.*, 1978). Cette valeur est utilisée comme un substitut de la concentration dans l'eau potable. D'autres sources de renseignements sur le 2-furaldéhyde dans l'eau comprenaient Ewing *et al.* (1977), Kool *et al.* (1982), Lucas (1984), et la Japan Environment Agency (1998).

^l Les concentrations de 2-furaldéhyde dans le sol au Canada n'ont pas été recensées.

^m Voir l'annexe 5, qui présente les renseignements détaillés sur l'évaluation de l'exposition alimentaire.

ⁿ n.d. : données non disponibles.

Annexe 2. Concentrations de 2-furaldéhyde dans l'air intérieur

Concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Résumé des résultats d'étude	Référence
1,965 à < 5,895	Des échantillons ont été prélevés dans 11 nouvelles maisons aux États-Unis. Entre 2 et 9 mois et demi suivant la fin des travaux de construction, les moyennes géométriques variaient de 0,5 à < 1,5 ppb (conversion selon 1 ppm = 3,393 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [UE, 2008])	Hodgson <i>et al.</i> (2000)
1,061	Des concentrations détectables ont été recensées dans 19 des 36 échantillons prélevés dans 6 maisons du New Jersey, dont la moyenne était de 0,27 ppb (les limites de détection variaient de 0,1 à 0,4 ppb)	Zhang <i>et al.</i> (1994)
1, 1,1 et 1,2	Concentrations détectables recensées dans 3 des 6 échantillons prélevés dans 1 maison (deuxième étage) en Floride sur 24 heures	Krause <i>et al.</i> (2009)
2,3, 2,1, 2,2, 2,6, 2,5 et 2,6	Concentrations détectables recensées dans une deuxième maison (premier étage) en Floride	
2,2, 2,4, 3,3, 2,6, 2,7 et 2,5	Concentrations détectables recensées dans une deuxième maison (deuxième étage) en Floride	
1,926	Concentrations détectables recensées dans 1 des 3 maisons en Louisiane, dont la moyenne des 5 échantillons était de 0,49 ppb	
1,56	La moyenne de 50 échantillons prélevés dans des maisons en Finlande variait de 0,16 à 6,30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (les limites de détection variaient de 0,05 à 0,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Kostiainen (1995)

Annexe 3. Niveaux naturellement présents de 2-furaldéhyde dans les aliments (CIVO-TNO, 1994)^a

Aliments	Concentration de 2-furaldéhyde (µg/kg)
Produits laitiers	
Fromages bleus, parmesan, yogourt, lait	20
Matières grasses	
Beurre	20
Fruits et produits à base de fruits	
Pomme fraîche, jus de pomme, abricot, cerise sauvage, cerise acide	De 20 à 50
Jus d'orange	Trace
Huile d'écorce d'orange, jus de pamplemousse	340
Myrtille	20
Canneberge à gros fruits	De 100 à 300
Airelle rouge	20
Groseilles – baies, goyaves	De 1,2 à 190
Raisin (sec, sultana), pêche, ananas, framboise, fraise	10
Ronce acaule, ronce petit-mûrier	Trace
Jus de fruits de la passion, grenadille, prune fraîche, prune salée, prune marinée	2 580
Mangue fraîche	De 0 à 100
Coing, pomme, baie de sureau, mangoustan, chérimole, vin de myrtille, huile de bucco, vanille	<10
Sapotille	Trace
Nectarine, mangoustan	<10
Mangue (en conserve)	7 000
Légumes	
Asperge (fraîche, cuite)	10
Carotte, feuilles de céleri frais, oignon grillé, poireau (chauffé), pomme de terre fraîche, pomme de terre cuite, poivron	5
Choucroute, tomate	De 800 à 26 000
Soya	Trace
Haricot, champignon frais	50
Chou-fleur cuit	7 000
Betterave cuite, artichaut cuit, radis fermenté, hydrolysate de soja fermenté (sauce de soja), patate chauffée	<10
Chicorée, endive	De 0 à 200
Aubergine	17 200
Produits à base de céréales	
Pain de froment	De 800 à 26 000
Pain plat, autres pains	20
Malt torréfié	De 80 à 200
Flocons de chêne rôtis	Trace

Aliments	Concentration de 2-furaldéhyde (µg/kg)
Issues de riz, riz traditionnel cuit, gruau d'avoine, maïs	<10
Riz sauvage	200
Viandes et volailles	
Poulet et dinde frais, bœuf bouilli ou cuit, bœuf grillé ou rôti	20
Agneau, mouton, porc chauffé	De 0 à 300
Poissons	
Trassi (cuit)	9 000
Bonite (séchée)	< 10
Aliments principalement à base de sucre	
Miel	Trace
Noix et graines	
Aveline rôtie, arachide rôtie, noix de pecan rôtie	De 80 à 200
Noix de macadamia rôtie, graine de sésame rôtie	0 à 100
Pistache rôtie	17 200
Amande rôtie	9 000
Boissons gazeuses et alcoolisées	
Huile de houblon, bière	De 0 à 300
Cognac	De 600 à 33 000
Armagnac	2 000
Weinbrand	De 200 à 4 300
Eau-de-vie de raisin, autres eau-de-vie, rhums, rhums volatils	22 000
Rhums volatils	De traces à 25 000
Rhums volatils	Traces
Whisky bourbon	De 2 000 à 11 600
Whisky irlandais	De 800 à 13 600
Whisky de malt	De 10 000 à 37 000
Whisky scotch	De 1 100 à 30 000
Whisky canadien	De 300 à 800
Whisky japonais	De 500 à 4 500
Cidre, xérès, vin blanc	De trace à 10 300
Vin rouge	De 5 à 50
Vin rosé, porto	De 2 000 à 34 000
Vin spécialisé, sélection de grains nobles	130
Cacao, café	De 55 000 à 255 000
Thé noir	De 2 000 à 7 000
Thé vert	100
Thé de fermentation microbienne, thé infusé	De 300 à 800
Eau-de-vie de prune	9 000
Eau-de-vie de poire	7 000
Eau-de-vie de pomme, genièvre, vin de fraise, saké, malt, malt de tourbe, vin de myrtille	< 10

Aliments	Concentration de 2-furaldéhyde (µg/kg)
Arak	17 200
Ouzo	De 0 à 200
Divers	
Cannelle, clou de girofle, espèces de <i>Mentha</i>	De 800 à 26 000
Maïs soufflé, croustilles américaines	De 80 à 200
Tamarin	7 000
Bacuri, cupuacu, muruci, sukiyaki, réglisse, matsutake, moût, chérimole, huile de bucco, vanille	< 10

^a La source secondaire n'a pas spécifiée si les analyses effectuées sur le café, le thé et le cacao concernaient les grains/feuilles ou les boissons.

Annexe 4. Niveaux naturellement présents de 2-furaldéhyde dans les aliments recensés dans des sources supplémentaires

Aliments	Concentration	Pays	Référence
Lait maternel			
Lait maternel	Détecté dans 2 des 8 échantillons de volatils de lait	États-Unis	Erickson <i>et al.</i> , (1980); Pellizzari <i>et al.</i> , (1982)
Préparation pour nourrissons			
Préparations en poudre de départ et de transition et 2 ^e étape pour nourrissons de 0 à 12 mois; entreposées à 20 à 37 °C	<p>Préparation adaptée entreposée à 20 °C, 2-furaldéhyde total :</p> <p>0 mois : 31,88 ± 5,43 µg/100 g 3 mois : 16,79 ± 1,33 µg/100 g 6 mois : 44,25 ± 3,59 µg/100 g 9 mois : 50,23 ± 3,93 µg/100 g 12 mois : 51,14 ± 4,18 µg/100 g</p> <p>Préparation adaptée entreposée à 37 °C, 2-furaldéhyde total :</p> <p>0 mois : 31,88 ± 5,43 µg/100 g 3 mois : 19,14 ± 2,26 µg/100 g 6 mois : 40,91 ± 2,67 µg/100 g 9 mois : 56,78 ± 6,82 µg/100 g 12 mois : 55,58 ± 3,93 µg/100 g</p>	Espagne	Ferrer <i>et al.</i> (2002)
Préparation en poudre; concentration mesurée suivant un entreposage à 20 et 37 °C pendant 15 à 24 mois	<p>Préparation adaptée entreposée à 20 °C, 2-furaldéhyde total :</p> <p>15 mois : 36 ± 0,1 µg/100 g 18 mois : 28 ± 1 µg/100 g 21 mois : 19 ± 2 µg/100 g 24 mois : 86 ± 1 µg/100 g</p> <p>Préparation adaptée entreposée à 37 °C, 2-furaldéhyde total :</p> <p>15 mois : 38 ± 2 µg/100 g 18 mois : 33 ± 1 µg/100 g 21 mois : 24 ± 2 µg/100 g 24 mois : 87 ± 4 µg/100 g</p>	Espagne	Ferrer <i>et al.</i> (2005)
Préparation en poudre; concentration mesurée dans des préparations pour nourrissons enrichies d'acides gras polyinsaturés à longue chaîne entreposées à 25 et 37 °C pendant 0 à 12 mois	<p>Préparation enrichie entreposée à 25 °C :</p> <p>0 mois : 167,88 ± 4,98 µg/100 g 3 mois : 214,53 ± 8,54 µg/100 g 6 mois : 234,68 ± 5,93 µg/100 g 9 mois : 192,71 ± 6,91 µg/100 g 12 mois : 186,40 ± 17,3 µg/100 g</p> <p>Préparation enrichie entreposée à 37 °C :</p> <p>0 mois : 167,13 ± 4,98 µg/100 g 3 mois : 232,06 ± 5,39 µg/100 g 6 mois : 199,74 ± 11,27 µg/100 g 9 mois : 201,77 ± 9,68 µg/100 g</p>	Espagne	Chavez-Servin <i>et al.</i> (2006)

Aliments	Concentration	Pays	Référence
	12 mois : 198,22±7,97 µg/100 g Préparation témoin (non enrichie) entreposée à 25 °C : 0 mois : 170,29 ± 7,44 µg/100 g 3 mois : 147,17 ± 6,66 µg/100 g 6 mois : 153,86 ± 10,92 µg/100 g 9 mois : 156,09 ± 3,11 µg/100 g 12 mois : 212,21 ± 18,9 µg/100 g		
Préparation en poudre; concentration mesurée dans des préparations pour nourrissons enrichies de phospholipides d'œuf et d'acides gras polyinsaturés à longue chaîne, entreposées à 25 et 40 °C pendant 0 à 18 mois	Préparation enrichie de phospholipides de jaunes d'œuf entreposée à 25 °C : 0 mois : 92,51 ± 7,21 µg/100 g 1 mois : 113,84 ± 7,50 µg/100 g 3 mois : 131,10 ± 6,80 µg/100 g 6 mois : 108,04 ± 3,29 µg/100 g 9 mois : 116,54 ± 14,67 µg/100 g 12 mois : 74,72 ± 20,23 µg/100 g 15 mois : 84,10 ± 10,86 µg/100 g 18 mois : 82,94 ± 5,09 µg/100 g Résultats sur les préparations entreposées à 40 °C non présentés. Préparation enrichie d'acide docosahexanoïque et d'acide arachidonique entreposée à 25 °C : 0 mois : 78,21 ± 6,24 µg/100 g 1 mois : 150,06 ± 6,22 µg/100 g 3 mois : 132,61 ± 12,91 µg/100 g 6 mois : 106,08 ± 3,70 µg/100 g 9 mois : 109,53 ± 13,01 µg/100 g 12 mois : 109,31 ± 21,45 µg/100 g 15 mois : 111,45 ± 19,77 µg/100 g 18 mois : 121,63 ± 3,71 µg/100 g Résultats sur les préparations entreposées à 40 °C non présentés.	Espagne	Chavez-Servin <i>et al.</i> (2009)
Formule de poudre de lait, utilisée principalement par les femmes enceintes, entreposée à 25 et 37 °C pendant 0 à 15 mois	Préparation entreposée à 25 °C : 0 mois : 128,40 ± 2,6 µg/100 g 5 mois : 216,61 ± 13 µg/100 g 9 mois : 162,55 ± 7,7 µg/100 g 12 mois : 249,84 ± 5,5 µg/100 g 15 mois : 345,36 ± 5,6 µg/100 g	Espagne	Chavez-Servin <i>et al.</i> (2005)
Fruits			
Feijoa	0,02 µg/g	Californie	Binder et Flath (1989)
Nectarines	Substance détectée comme un composant aromatisant volatil	États-Unis	Engel <i>et al.</i> (1988)
Mangue, purée en conserve provenant d'Inde	Détection qualitative	Inde	Hunter <i>et al.</i> (1974)

Aliments	Concentration	Pays	Référence
Noix			
Avelines rôties	Substance détectée comme un composant aromatisant volatil	États-Unis	Kinlin <i>et al.</i> (1972)
Arachides rôties	Substance détectée comme un composant aromatisant volatil	États-Unis	Johnson <i>et al.</i> , (1971); Walradt <i>et al.</i> (1971)
Noix de pecan rôties	Substance détectée comme un composant aromatisant volatil	États-Unis	Wang et Odell (1972)
Noix de macadamia rôties	Substance détectée comme un composant aromatisant volatil	États-Unis	Crain et Tang (1975)
Légumes			
Maïs sucré (maïs en crème conserve) Maïs sucré (maïs en grains en conserve) Maïs sucré (maïs en grains surgelé) Maïs sucré (maïs en grains frais)	8 ppb 7 ppb 2 ppb < 1 ppb	États-Unis	Buttery <i>et al.</i> (1994)
Volatils de galette de riz	700 et 800 ppb	États-Unis	Buttery <i>et al.</i> (1999)
Pommes de terre cuites	Substance détectée comme un composant aromatisant volatil	États-Unis	Coleman <i>et al.</i> (1981); Pareles et Chang (1974)
Substance détectée dans les volatils de 2 des 3 tofus fermentés commerciaux	11,9 et 283,5 µg/kg, (échantillon sec)	Hong Kong	Chung (1999a)
Asperge	Détection qualitative	Allemagne	Tressel <i>et al.</i> (1977)
Poireau	Substance détectée qualitativement comme un composant aromatisant volatil	Belgique	Schreyen <i>et al.</i> (1976)
Poivron	Substance détectée qualitativement comme un composant aromatisant volatil	États-Unis	Buttery <i>et al.</i> (1969)
Tomates	Substance détectée qualitativement comme un composant aromatisant volatil	États-Unis	Buttery <i>et al.</i> (1971)
Champignons secs	Détection qualitative	Suisse	Thomas (1973)
Viandes et poissons			

Aliments	Concentration	Pays	Référence
Chair de crabe, pinces Chair de crabe, corps Chair de crabe, carapace	0,5 µg/kg (échantillon sec) 0,9 µg/kg (échantillon sec) 10,2 µg/kg (échantillon sec)	Hong Kong	Chung (1999b)
Hareng fermenté dans le sel Pâte de crevette	3 760 ng/g 599 ng/g	Corée	Cha et Cadwaller (1995)
Bacon frit	Substance détectée comme un composant aromatisant volatil		Ho <i>et al.</i> (1983)
Foie de porc, cuit sous pression	Détection qualitative	États-Unis	Mussinán et Walradt (1974)
Bœuf cuit	Détection qualitative	États-Unis	Chang <i>et al.</i> (1977)
Mouton et bœuf	Substance détectée comme un composant des volatils		Shahidi <i>et al.</i> (1986).
Ragoût de bœuf en conserve	Détection qualitative	États-Unis	Peterson <i>et al.</i> (1975); Chang et Peterson (1977)
Produits laitiers			
Matières grasses du fromage bleu	Substance détectée comme un aromatisant		Day et Anderson (1965)
Crème glacée, glaçons	13 ppm ^a		Furia et Bellanca, (1975)
Boissons			
Substance détectée comme un aromatisant du café			Aeschbacher <i>et al.</i> (1989)
Boissons non alcoolisées	4 ppm ^b		Furia et Bellanca, (1975)
Boissons alcoolisées	10 ppm ^c		Furia et Bellanca, (1975)
7 marques commerciales de saké	De 68 à 933 ng/mL; Moyenne = 280 ng/mL	Japon	Yasuhara <i>et al.</i> (1998)
12 vins rouges	Les données quantitatives ne sont pas présentées.	Espagne	Ortega-Heras <i>et al.</i> (2007)
Échantillons prélevés à partir de 267 bouteilles de vin rouge (89 marques, un échantillon prélevé sur chacun des 3 lots)	Moyenne = 4,56 mg/L (plage : de 0 à 22,72 mg/L) Une densité de 0,99 a été attribuée au vin rouge (Diaz <i>et al.</i> , 2003; Godelmann <i>et al.</i> , 2008). Moyenne = 4,51 mg/kg (plage : de 0 à 22,5 mg/kg)	Espagne	Garde-Cerdan <i>et al.</i> (2008)
Vin rouge	Substance non détectée au jour 1 : concentrations après 207 jours dans 5 différents types de baril : 0,098 mg/L	République Tchèque	Matejicek <i>et al.</i> (2005)

Aliments	Concentration	Pays	Référence
	0,104 mg/ L 0,091 mg/ L 0,094 mg/ L 0,115 mg/ L		
Bière fraîche	48,1 µg/L	Belgique	Vanderhaegen <i>et al.</i> (2003)
Bière entreposée pendant 6 mois	Concentration variant de 65,0 µg/L (0 °C et CO ₂ dans l'espace libre) à 2 535 mg/L (40 °C et air l'air de l'espace libre)	Belgique	Vanderhaegen <i>et al.</i> (2003)
Bière	28,8 ppb dans la bière entreposée à 0 °C pendant 12 semaines; 458,3 ppb dans la bière entreposée à 30 °C pendant 12 semaines	États-Unis	Vesely <i>et al.</i> (2003)
Thé vert rôti	7,67 mg/kg	Japon	Yanagimoto <i>et al.</i> (2003)
Café en poudre (n=5) Café instantané en poudre (n=8) Xérès Jus de fruits	De 70 à 160 mg/kg De 14 à 95 mg/kg 1 mg/L 0,3 mg/L	Allemagne	Schultheiss <i>et al.</i> (2000)
Grains de café vert rôtis	165,8 mg/kg de matière sèche	Suisse	Poisson <i>et al.</i> (2009)
Jus de pomme	Substance non détectée dans 3 échantillons; 0,09 mg/L dans un échantillon, équivalent à ~85 µg/kg La densité du jus de pomme est de ~1 060 g/L (Bayindirli, 1992)	Canada	Kermasha <i>et al.</i> (1995)
Jus de pomme (n = 8)	2,0 mg/L (plage : de 0,8 à 5,6 mg/L) Équivalent à 1 886 µg/kg (plage : de 755 à 5 280 µg/kg) La densité du jus de pomme est de ~1 060 g/L (Bayindirli, 1992)	Allemagne	Elss <i>et al.</i> (2006)
Jus d'orange, en conserve	Détection qualitative	États-Unis	Tatum <i>et al.</i> (1975)
Divers			

Aliments	Concentration	Pays	Référence
Volatils du maïs soufflé	610 et 13 000 µg/kg	États-Unis	Buttery <i>et al.</i> (1997)
Croustilles	Substance détectée comme un composant aromatisant volatil		Deck <i>et al.</i> (1973)
Bœuf frit avec légumes, sauce soja et sucre; substance présente dans le bœuf et la sauce soja	Substance détectée comme un composant aromatisant volatil dominant		Shibamoto <i>et al.</i> (1981)
Fraction neutre d'huile essentielle de girofle	Substance détectée comme un composant aromatisant volatil		Muchalal et Crouzet (1985)
Friandise	12 ppm ^d		Furia et Bellanca, (1975)
Produits de boulangerie	17 ppm ^e		Furia et Bellanca, (1975)
Pain, quatre techniques de cuisson	De 0,04 à 0,34 mg/100 g dans la croûte; substance non détectée dans la chapelure	États-Unis	Linko <i>et al.</i> (1962)
Croûte de pain, teneurs en sucre variées : 4 % de saccharose 5 % de saccharose 6 % de saccharose 7 % de saccharose 8 % de saccharose	0,325 mg/100 g 0,338 mg/100 g 0,350 mg/100 g 0,386 mg/100 g 0,435 mg/100 g	États-Unis	Linko <i>et al.</i> (1962)
Pain vieilli non emballé Jour 0 Jour 1 Jour 2 Jour 3 Jour 5 Jour 7	2-furaldéhyde dans la croûte : 0,34 mg/100 g 0,13 mg/100 g 0,04 mg/100 g 0,10 mg/100 g 0,07 mg/100 g 0,04 mg/100 g Note : substance non détectée dans la chapelure	États-Unis	Linko <i>et al.</i> (1962)
Pain vieilli emballé Jour 0 Jour 1 Jour 2 Jour 3 Jour 5 Jour 7	2-furaldéhyde dans la croûte : 0 mg/100 g 0,23 mg/100 g 0,11 mg/100 g 0,17 mg/100 g 0,17 mg/100 g 0,14 mg/100 g Note : substance non détectée dans la chapelure	États-Unis	Linko <i>et al.</i> (1962)
Gélatines et puddings	0,8 ppm ^f		Furia et Bellanca, (1975)
Gomme à mâcher	45 ppm ^g		Furia et Bellanca,

Aliments	Concentration	Pays	Référence
			(1975)
Sirops	30 ppm ^h		Furia et Bellanca, (1975)
Miel commercial Miel de producteur Vinaigre rouge balsamique Vinaigre blanc balsamique	0,7 mg/kg 3,0 mg/kg 8,4 mg/L 2,6 mg/L	Portugal	Gaspar et Lopes (2009)
Vinaigre blanc Vinaigre blanc Vinaigre blanc Vinaigre rouge Vinaigre rouge Vinaigre rouge Vinaigre balsamique Vinaigre balsamique Vinaigre balsamique Vinaigre balsamique	0,31 mg/L 1,35 mg/L 0,55 mg/L 0,34 mg/L 0,89 mg/L 0,57 mg/L 2,63 mg/L 6,63 mg/L 14,19 mg/L 8,00 mg/L	Italie	Giordano <i>et al.</i> (2003)
Réglisse	Détection qualitative	Italie	Frattini <i>et al.</i> (1977)
Miel (n = 9)	0,06 µg/g (plage : de 0,04 à 0,10 µg/g)	Espagne	Nozal <i>et al.</i> (2001)
Miel (n = 8)	0,03 µg/g (plage : de 0,01 à 0,05 µg/g)	Espagne	Nozal <i>et al.</i> (2001)
Miel (n = 5)	0,03 µg/g (plage : de 0,02 à 0,04 µg/g)	Espagne	Nozal <i>et al.</i> (2001)
Miel (n = 1)	0,10 µg/g	Espagne	Nozal <i>et al.</i> (2001)
Miel (n = 2)	0,15 µg/g (plage : de 0,14 à 0,16 µg/g)	Espagne	Nozal <i>et al.</i> (2001)
Sirop d'érable	Substance détectée comme un composant aromatisant volatil	États-Unis	Underwood (1971)

^a Bien que la substance ait été recensée dans l'édition de 1975 du livre de référence *Fenaroli's Handbook of Flavor Ingredients*, elle ne figure pas dans l'édition de 2010 de Burdock (2010).

^{b,c,d,e,f,g,h} *Ibid.*

Annexe 5. Paramètres utilisés dans l'évaluation de l'exposition alimentaire pour divers groupes d'âge de la population canadienne

Une évaluation de l'exposition alimentaire a été menée en fonction des concentrations naturelles de 2-furaldéhyde dans les aliments et les boissons recensées dans des ouvrages publiés (voir les annexes 3 et 4 pour consulter la liste des études recensées) et de l'utilisation de la méthodologie d'exposition de Santé Canada (1998), « Exposure Factors for assessing total daily intake of Priority Substances by the General Population of Canada ».

L'évaluation de l'exposition alimentaire a été menée au moyen de 181 aliments, qui comprenaient des formules de préparation pour nourrissons, des produits laitiers, des matières grasses, des fruits et des produits à base de fruits, des légumes, des produits céréaliers, des viandes et des volailles, des poissons, des œufs, des aliments principalement à base de sucre, divers plats préparés et soupes, des noix et des graines, des boissons gazeuses et alcoolisées.

Les notes suivantes décrivent la raison de la sélection des valeurs spécifiques et de la plage des valeurs dans l'évaluation de l'absorption; ces valeurs sont présentées à l'annexe 6.

Préparations pour nourrissons : La concentration maximale de 2-furaldéhyde dans une formule en poudre (234,68 µg/100 g de formule en poudre) a été déterminée dans le cadre d'une étude sur les formules effectuée en Espagne (Chavez-Servin *et al.*, 2006). L'absorption est basée sur l'ajout de 15 g de formule à 100 mL d'eau (Ferrer *et al.*, 2002). D'autres rapports sur la concentration de 2-furaldéhyde dans les formules comprennent ceux de Ferrer *et al.* (2005) et de Chavez-Servin *et al.* (2005, 2009). Les données relatives aux formules entreposées à 37 et 40 °C n'ont pas été prises en considération dans l'estimation de l'absorption.

Produits laitiers : L'absorption était basée sur la concentration naturelle de 0,02 ppm (20 µg/kg) dans les fromages bleus, le parmesan, le yogourt et le lait, recensée par CIVO-TNO (1994). Une concentration plus élevée a été recensée dans la crème glacée et les glaçons (13 ppm ou 13 000 µg/kg) dans l'édition de 1975 du livre de référence *Fenaroli's Handbook of Flavor Ingredients* (Furia et Bellanca, 1975), mais celle-ci ne figure pas dans l'édition de 2010 (Burdock, 2010). Cette valeur a néanmoins été utilisée dans les estimations. On n'a répertorié aucune autre donnée sur les concentrations de 2-furaldéhyde dans les produits laitiers.

Matières grasses : L'absorption était basée sur la concentration naturelle de 0,02 ppm (20 µg/kg) dans le beurre, recensée par CIVO-TNO (1994). Aucune autre donnée relative aux matières grasses n'a été recensée.

Fruits : Au Canada, du 2-furaldéhyde a été détecté dans l'un de quatre échantillons de jus de pomme, à une concentration de 85 µg/kg (Kermasha *et al.* (1995). Aux États-Unis, une concentration de 20 µg/kg a été recensée dans un feijoa (Binder et Flath, 1989). Une concentration maximale d'environ 5 mg/kg (5 000 µg/kg) a été recensée dans du jus d'orange en Allemagne (Elss *et al.*, 2006). Les autres données quantitatives relatives aux fruits ont été déterminées par CIVO-TNO (1994), mais elles ne précisent pas le pays d'origine. Sur un total d'environ 30 fruits et produits à base de fruits, 11 aliments étaient réputés contenir jusqu'à 10 µg/kg de la substance. À l'exception des niveaux élevés des mangues en conserve (7 000 µg/kg), des jus de fruits de la passion et des prunes (2 580 µg/kg), ainsi que des jus de pomme (5 280 µg/kg), les autres valeurs reposaient sur une plage approximative de 50 à 300 µg/kg. À titre de méthode prudente, l'apport des fruits et produits à base de fruits est fondé sur l'utilisation des données réelles recensées propres à chaque fruit et à l'attribution d'une valeur de 2 580 µg/kg aux fruits pour lesquels aucune valeur n'était recensée, puisque les niveaux dans les fruits variaient grandement (de trace à 7 000 µg/kg). Une valeur plus élevée a été utilisée dans le calcul de l'apport des fruits afin de tenir compte des niveaux supérieurs recensés dans les fruits en conserve et les jus.

Légumes : Aucune donnée quantitative n'a été recensée au Canada. Aux États-Unis, la concentration maximale recensée dans quatre échantillons de maïs sucré est de 8 µg/kg. Presque la totalité de la vingtaine

de légumes contenait une concentration inférieure à 10 µg/kg, recensée par CIVO-TNO (1994), sauf les valeurs exceptionnellement élevées établies pour le chou-fleur cuit (7 000 µg/kg), la choucroute et la tomate (de 800 à 26 000 µg/kg), ainsi que de l'aubergine (17 200 µg/kg). Les rapports relatifs aux tofus variaient de 119 à 2 835 µg/kg. Dans la modélisation des apports, les valeurs maximales déclarées ont été utilisées quant aux aliments pour lesquels une valeur avait été attribuée, et la valeur de 50 µg/kg recensée en ce qui a trait aux haricots et aux champignons frais a été utilisée pour calculer les apports de 2-furaldéhyde des légumes pour lesquels aucune valeur n'avait été spécifiée.

Produits céréaliers : Aucune donnée canadienne n'a été recensée. Aux États-Unis, les résultats d'analyse sur la croûte de pain ont été déclarés (Linko *et al.*, 1962), mais il convient de noter que du 2-furaldéhyde n'a été détecté que dans la croûte, non pas dans la chapelure. CIVO-TNO (1994) a déclaré que des concentrations de 20 µg/kg de 2-furaldéhyde étaient présentes dans le pain plat et d'autres pains, mais que les valeurs du pain de froment ont été recensées comme étant aussi élevées que 26 000 µg/kg. Les valeurs déterminées des produits céréaliers varient de 0 à 200 g/kg quant au riz sauvage, puis s'élèvent à 26 000 µg/kg dans le pain de froment. Les niveaux recensés des produits de boulangerie sont de 17 ppm (17 000 µg/kg), et cette valeur a été utilisée dans le calcul des apports provenant des gâteaux et des biscuits. Les niveaux de 2-furaldéhyde des galettes de riz sont recensés de 700 à 800 µg/kg. Tous les produits céréaliers pour lesquels une valeur avait été attribuée, la valeur maximale a été utilisée dans le calcul, tandis que la valeur de 800 µg/kg a servi à calculer les estimations des apports des produits céréaliers pour lesquels aucune valeur n'avait été spécifiée.

Viandes et volailles : Les seules données quantitatives concernaient les rapports de Chung (1999b) et de CIVO-TNO (1994). Le rapport de ce dernier recensait la concentration la plus élevée (300 µg/kg pour l'agneau, le mouton et le porc), qui a été utilisée pour calculer l'apport. Tous les aliments pour lesquels une valeur a été attribuée aux annexes 2 et 3, la valeur maximale a été utilisée dans le calcul de l'apport, alors qu'une valeur de 300 µg/kg a servi à calculer l'apport provenant de toutes les autres viandes et volailles.

Poissons : Un petit nombre de rapports relatifs aux concentrations de 2-furaldéhyde dans les poissons a été recensé. Les valeurs déclarées pour la bonite (< 10 µg/kg), la pâte de crevette (599 µg/kg), le hareng fermenté dans le sel en conserve (3 760 µg/kg) et le trassi cuit (9 000 µg/kg) ont été prises en considération. La bonite a été jugée comme étant représentative de la plupart des poissons frais, et une valeur de 10 µg/kg a été attribuée à tous les poissons de mer pour lesquels aucune valeur n'avait été spécifiée dans le cadre de la modélisation. Une valeur de 0,5 à 10,2 µg/kg a été utilisée en ce qui a trait à la chair de crabe, et une valeur de 0,5 µg/kg a été utilisée comme substitut pour les autres mollusques.

Œufs : Aucune donnée n'a été recensée. Bien qu'aucune valeur n'a été recensée dans le cas des œufs, une valeur de 300 µg/kg a également servi à estimer les niveaux de 2-furaldéhyde provenant des œufs. Comme les œufs contiennent des quantités considérables de protéines et de glucides, tout comme les viandes, les concentrations relatives aux viandes ont été prises en considération pour les œufs.

Aliments, principalement les aliments sucrés : Aucune donnée quantitative n'a été recensée en Amérique du Nord. Les apports sont fondés sur la concentration maximale recensée de 2-furaldéhyde (0,16 µg/g) dans le miel en Espagne (Nozal *et al.*, 2001). Cette étude présente les résultats d'analyses en double et a été préférée à un autre rapport recensant une concentration élevée de 2-furaldéhyde dans le miel au Portugal (Gaspar et Lopes, 2009). Les concentrations de 2-furaldéhyde dans d'autres aliments à teneur élevée en sucre ont été recensées par Frattini *et al.* (1977) et Underwood (1971). Les valeurs relatives à la gomme à mâcher de 45 ppm ou de 45 000 µg/kg, aux sirops de 30 ppm (30 000 µg/kg), aux friandises de 12 ppm (12 000 µg/kg), ainsi qu'aux gélatines et puddings de 0,8 ppm (800 µg/kg) ont en outre été utilisées dans les calculs.

Divers plats préparés et soupes : Aucune donnée quantitative n'a été recensée. Du 2-furaldéhyde a été recensé au niveau qualitatif dans le ragoût de bœuf en conserve aux États-Unis (Peterson *et al.*, 1975; Chang et Peterson, 1977), ainsi que dans le bœuf frit avec légumes et sauce soja (Shibamoto *et al.*, 1981). Comme un grand nombre de ces mets contiennent des légumes et des viandes, une valeur de 300 µg/kg (viandes) a été utilisée comme substitut pour calculer l'apport de ce type d'aliment.

Noix et graines : Des données quantitatives limitées ont été recensées. Une grande variété de concentrations de 0 à 17 200 µg/kg [pistaches rôties] ont été recensées dans un groupe d'aliments qui comprenait des amandes (9 000 µg/kg); du maïs soufflé (13 000 µg/kg) et des croustilles (200 µg/kg). La majorité des autres valeurs (aveline rôtie, arachide rôtie, noix de pecan rôtie et graine de sésame rôtie) étaient de l'ordre de 80 à 200 µg/kg, et la valeur de 200 µg/kg a ainsi servi à calculer les apports des autres noix pour lesquelles aucune valeur n'avait été spécifiée.

Boissons gazeuses, boissons alcoolisées, café et thé : La plupart des données recensées concernent des analyses de la bière, du vin et du whisky, et une vaste fourchette de valeurs de 0 à 881 000 µg/kg ont été recensées. Peu de données ont été recensées sur les boissons non alcoolisées. Les niveaux de 2-furaldéhyde les plus élevés sont recensés dans le café (255 000 µg/kg), mais les données ne précisent pas s'il s'agit de grains rôtis ou de café infusé. D'autres rapports sur le café indiquent des valeurs inférieures de 95 µg/g, qui concernent le café instantané en poudre. Une dilution standard de 1 cuillère à table (15 g) de poudre pour 1 tasse (250 mL) de café infusé totalise une valeur de 5,7 µg/g. Comme l'apport de 2-furaldéhyde provenant du café concernait la majorité (> 80 %) des boissons chez le groupe d'adultes, une plage de valeurs (5,7 µg/g à la limite supérieure de 255 000 µg/g ou 255 µg/kg) a servi à l'estimation des apports pour présenter les limites inférieure et supérieure d'absorption provenant du café. Les données utilisées pour le cacao et le thé infusé étaient respectivement de 55 000 µg/kg et de 0,8 µg/kg. Une valeur de 22 500 µg/kg, représentant la panoplie de vins rouges et blancs, a été utilisée pour les vins (les vins rouges varient de 2 000 à 34 000 µg/kg, tandis que les vins blancs varient de traces à 10 300 µg/kg). Dans le cas des boissons très alcoolisées et des liqueurs, une valeur de 33 000 µg/kg a été utilisée. Une valeur de 300 µg/kg a été utilisée pour la bière. Dans le cas des boissons en poudre, une valeur de 345 µg/kg a servi de substitut aux valeurs déterminées des poudres de lait destinées aux femmes enceintes, recensées par des chercheurs en Espagne, qui ont également indiqué les concentrations de 2-furaldéhyde dans les préparations en poudre pour nourrissons.

Annexe 6. Niveaux naturellement présents de 2-furaldéhyde dans les aliments utilisés dans l'évaluation sur l'exposition alimentaire

N°	Aliment	Concentration de 2-furaldéhyde (µg/g)	Référence
1	Lait entier	0,02	CIVO-TNO (1994)
2	Lait 2 %	0,02	CIVO-TNO (1994)
3	Lait écrémé	0,02	CIVO-TNO (1994)
4	Lait évaporé	0,02	CIVO-TNO (1994)
5	Crème, de 10 à 12 % de matière grasse butyrique	0,02	CIVO-TNO (1994)
6	Crème glacée	13	Burdock (2010)
7	Yogourt	0,02	CIVO-TNO (1994)
8	Fromage naturel	0,02	CIVO-TNO (1994)
9	Fromage cottage	0,02	CIVO-TNO (1994)
10	Fromage fondu	0,02	CIVO-TNO (1994)
11	Aliments pour bébés	2,35	Chavez-Servin <i>et al.</i> (2006)
12	Déjeuner instantané 1	3,45	Chavez-Servin <i>et al.</i> (2005)
13	Déjeuner instantané 2	3,45	Chavez-Servin <i>et al.</i> (2005)
14	Déjeuner instantané 3	3,45	Chavez-Servin <i>et al.</i> (2005)
15	Bifteck	0,3	CIVO-TNO (1994)
16	Rôti de bœuf	0,3	CIVO-TNO (1994)
17	Hamburger de bœuf	0,3	CIVO-TNO (1994)
18	Porc frais	0,3	CIVO-TNO (1994)
19	Porc salé	0,3	CIVO-TNO (1994)
20	Veau	0,3	CIVO-TNO (1994)
21	Agneau	0,3	CIVO-TNO (1994)
22	Volaille	0,3	CIVO-TNO (1994)
23	Abats	0,3	CIVO-TNO (1994)
24	Assortiment de viandes froides et de fromages	0,3	CIVO-TNO (1994)
25	Saucisse fumée fraîche	0,3	CIVO-TNO (1994)
26	Pain de viande à casse-croûte en conserve	0,3	CIVO-TNO (1994)
27	Viande, volaille ou œufs pour bébés	0,3	CIVO-TNO (1994)
28	Bifteck maigre seulement	0,3	CIVO-TNO (1994)
29	Rôti de bœuf maigre seulement	0,3	CIVO-TNO (1994)
30	Plats composés de bœuf	0,3	CIVO-TNO (1994)
31	Plats en conserve composés de bœuf	0,3	CIVO-TNO (1994)
32	Gibier (gros gibier)	0,3	CIVO-TNO (1994)

N°	Aliment	Concentration de 2-furaldéhyde (µg/g)	Référence
33	Porc frais maigre seulement	0,3	CIVO-TNO (1994)
34	Plats en conserve composés de porc	0,3	CIVO-TNO (1994)
35	Saucisse de porc	0,3	CIVO-TNO (1994)
36	Agneau maigre seulement	0,3	CIVO-TNO (1994)
37	Volaille (sans peau, non frite)	0,3	CIVO-TNO (1994)
38	Plats composés de volaille	0,3	CIVO-TNO (1994)
39	Faune aviaire	0,3	CIVO-TNO (1994)
40	Gibier (petit gibier)	0,3	CIVO-TNO (1994)
41	Pain de jambon à casse-croûte	0,3	CIVO-TNO (1994)
42	Saucisse fumée en conserve	0,3	CIVO-TNO (1994)
43	Œufs (moyens)	0,3	
44	Poisson de mer	0,01	CIVO-TNO (1994)
45	Poisson frais	0,01	CIVO-TNO (1994)
46	Poisson en conserve	3,76	Cha et Cadwaller (1995)
47	Mollusques	0,5	Chung (1999b)
48	Mollusques en conserve	10,2	Chung (1999b)
49	Soupe à la viande en conserve	0,3	CIVO-TNO (1994)
50	Soupe aux légumes	0,3	CIVO-TNO (1994)
51	Soupe aux tomates	0,3	CIVO-TNO (1994)
52	Mélanges déshydratés pour soupes instantanées	0,3	CIVO-TNO (1994)
53	Nourriture pour bébés : céréales, légumes et viande	0,3	CIVO-TNO (1994)
54	Nourriture pour bébés : viande ou volaille et légumes	0,3	CIVO-TNO (1994)
55	Sauces	0,3	CIVO-TNO (1994)
56	Soupe aux fruits de mer	0,5	Chung (1999b)
57	Pain blanc	0,8	Buttery <i>et al.</i> (1999)
58	Pain de blé entier	0,8	Buttery <i>et al.</i> (1999)
59	Rouleaux et biscuits	0,8	Buttery <i>et al.</i> (1999)
60	Farine de blé	0,8	Buttery <i>et al.</i> (1999)
61	Gâteau	17	Furia et Bellance (1975)
62	Biscuits	17	Furia et Bellance (1975)
63	Danoises et beignes	17	Furia et Bellance (1975)

N°	Aliment	Concentration de 2-furaldéhyde (µg/g)	Référence
64	Craquelins	0,8	Buttery <i>et al.</i> (1999)
65	Crêpes	0,8	Buttery <i>et al.</i> (1999)
66	Céréales de blé entier cuites	0,8	Buttery <i>et al.</i> (1999)
67	Céréales d'avoine	0,8	Buttery <i>et al.</i> (1999)
68	Céréales de blé sèches	0,8	Buttery <i>et al.</i> (1999)
69	Céréales de blé et de son sèches	0,8	Buttery <i>et al.</i> (1999)
70	Riz cuit	0,8	Buttery <i>et al.</i> (1999)
71	Tarte aux pommes	17	Furia et Bellance (1975)
72	Autres tartes	17	Furia et Bellance (1975)
73	Pizza	17	Furia et Bellance (1975)
74	Pâtes mélangées	0,8	Buttery <i>et al.</i> (1999)
75	Pâtes nature	0,8	Buttery <i>et al.</i> (1999)
76	Muffins	17	Furia et Bellance (1975)
77	Céréales pour bébés	0,8	Buttery <i>et al.</i> (1999)
78	Céréales d'avoine sèches	0,8	Buttery <i>et al.</i> (1999)
79	Riz sec	0,8	Buttery <i>et al.</i> (1999)
80	Plats de pâtes en conserve	0,8	Buttery <i>et al.</i> (1999)
81	Maïs frais	0,05	CIVO-TNO (1994)
82	Pommes de terre fraîches	0,05	CIVO-TNO (1994)
83	Pommes de terre cuites	0,05	CIVO-TNO (1994)
84	Pommes de terre bouillies avec pelure	0,05	CIVO-TNO (1994)
85	Pommes de terre bouillies sans pelure	0,05	CIVO-TNO (1994)
86	Pommes de terre frites	0,2	CIVO-TNO (1994)
87	Croustilles	0,2	CIVO-TNO (1994)
88	Chou potager	0,05	CIVO-TNO (1994)
89	Céleri	0,05	CIVO-TNO (1994)
90	Poivrons	0,05	CIVO-TNO (1994)
91	Laitue	0,05	CIVO-TNO (1994)
92	Chou-fleur	0,05	CIVO-TNO (1994)
93	Brocoli	0,05	CIVO-TNO (1994)
94	Haricots verts frais	0,05	CIVO-TNO (1994)
95	Pois verts frais	0,05	CIVO-TNO (1994)
96	Carottes fraîches	0,05	CIVO-TNO (1994)
97	Oignons	0,05	CIVO-TNO (1994)
98	Rutabaga o navet	0,05	CIVO-TNO (1994)
99	Tomates fraîches	0,8	CIVO-TNO (1994)
100	Jus de tomate en conserve	0,8	CIVO-TNO (1994)
101	Tomates en conserve	0,8	CIVO-TNO (1994)
102	Champignons frais	0,05	CIVO-TNO (1994)

N°	Aliment	Concentration de 2-furaldéhyde (µg/g)	Référence
103	Concombre	0,05	CIVO-TNO (1994)
104	Haricots matures (faits à la maison)	0,05	CIVO-TNO (1994)
105	Betteraves fraîches	0,05	CIVO-TNO (1994)
106	Légumes pour bébés	0,05	CIVO-TNO (1994)
107	Pommes de terre en conserve	0,05	CIVO-TNO (1994)
108	Asperges en conserve	0,05	CIVO-TNO (1994)
109	Légumes verts en conserve	0,05	CIVO-TNO (1994)
110	Haricots verts en conserve	0,05	CIVO-TNO (1994)
111	Pois en conserve	0,05	CIVO-TNO (1994)
112	Carottes en conserve	0,05	CIVO-TNO (1994)
113	Condiments de tomates	0,8	CIVO-TNO (1994)
114	Champignons en conserve	0,05	CIVO-TNO (1994)
115	Condiments de concombres	0,05	CIVO-TNO (1994)
116	Courge	0,05	CIVO-TNO (1994)
117	Haricots matures en conserve	0,05	CIVO-TNO (1994)
118	Betteraves en conserve	0,05	CIVO-TNO (1994)
119	Maïs en conserve	0,05	CIVO-TNO (1994)
120	Maïs soufflé	13	Buttery <i>et al.</i> (1997)
121	Agrumes frais	2,58	CIVO-TNO (1994)
122	Agrumes en conserve	5,28	Elss <i>et al.</i> (2006)
123	Jus d'agrumes frais	2,58	CIVO-TNO (1994)
124	Jus d'agrumes en conserve	5,28	Elss <i>et al.</i> (2006)
125	Pommes fraîches	2,58	CIVO-TNO (1994)
126	Jus de fruits en conserve	5,28	Elss <i>et al.</i> (2006)
127	Produits à base de pommes en conserve	5,28	Elss <i>et al.</i> (2006)
128	Bananes	2,58	CIVO-TNO (1994)
129	Raisins	2,58	CIVO-TNO (1994)
130	Jus de raisin en bouteille	2,58	CIVO-TNO (1994)
131	Pêches fraîches	2,58	CIVO-TNO (1994)
132	Poires fraîches	2,58	CIVO-TNO (1994)
133	Prunes fraîches	2,58	CIVO-TNO (1994)
134	Cerises fraîches	2,58	CIVO-TNO (1994)
135	Melons	2,58	CIVO-TNO (1994)
136	Fraises fraîches	2,58	CIVO-TNO (1994)

N°	Aliment	Concentration de 2-furaldéhyde (µg/g)	Référence
137	Bleuets frais	2,58	CIVO-TNO (1994)
138	Ananas frais	2,58	CIVO-TNO (1994)
139	Fruits déshydratés	2,58	CIVO-TNO (1994)
140	Fruits pour bébés	2,58	CIVO-TNO (1994)
141	Rhubarbe	2,58	CIVO-TNO (1994)
142	Pêches en conserve	2,58	CIVO-TNO (1994)
143	Poires en conserve	2,58	CIVO-TNO (1994)
144	Salade de fruits en conserve	2,58	CIVO-TNO (1994)
145	Prunes en conserve	2,58	CIVO-TNO (1994)
146	Cerises en conserve	2,58	CIVO-TNO (1994)
147	Cerises transformées	2,58	CIVO-TNO (1994)
148	Framboises fraîches	2,58	CIVO-TNO (1994)
149	Framboises en conserve	2,58	CIVO-TNO (1994)
150	Fraises en conserve	2,58	CIVO-TNO (1994)
151	Autres baies fraîches	2,58	CIVO-TNO (1994)
152	Autres baies en conserve	2,58	CIVO-TNO (1994)
153	Bleuets en conserve	2,58	CIVO-TNO (1994)
154	Ananas en conserve	2,58	CIVO-TNO (1994)
155	Graisses et huiles végétales	0,02	CIVO-TNO (1994)
156	Margarine	0,02	CIVO-TNO (1994)
157	Beurre	0,02	CIVO-TNO (1994)
158	Graisses animales à frire	0,02	CIVO-TNO (1994)
159	Arachides	0,2	CIVO-TNO (1994)
160	Beurre d'arachides	0,2	CIVO-TNO (1994)
161	Noix et graines	0,2	CIVO-TNO (1994)
162	Sucre blanc	0,16	Nozal <i>et al.</i> (2001)
163	Sirop à crêpe	30	Furia et Bellanca (1975)
164	Confitures	0,16	Nozal <i>et al.</i> (2001)
165	Miel	0,16	Nozal <i>et al.</i> (2001)
166	Puddings	0,8	Furia et Bellanca (1975)
167	Barres de chocolat	12	Furia et Bellanca (1975)
168	Autres friandises	45	Furia et Bellanca (1975)
169	Gélatines	0,8	Furia et Bellanca (1975)
170	Desserts pour bébés	0,16	Nozal <i>et al.</i> (2001)
171	Café	De 5,7 µg/g de café infusé (selon une poudre de café instantané de 95 µg/g) à 255 µg/g*	Schultheiss <i>et al.</i> (2000) CIVO-TNO (1994)*
172	Thé	0,8	CIVO-TNO (1994)
173	Boissons gazeuses	0,8	CIVO-TNO (1994)

N°	Aliment	Concentration de 2-furaldéhyde (µg/g)	Référence
174	Vin rouge	22,5	Diaz <i>et al.</i> (2003)
175	Bière en bouteille	0,3	CIVO-TNO (1994)
176	Boissons alcoolisées, spiritueux	33	CIVO-TNO (1994)
177	Boissons gazeuses légères	0,01	CIVO-TNO (1994)
178	Diverses boissons	4	Furia et Bellanca (1975)
179	Non classifié	4	Furia et Bellanca (1975)
180	Divers condiments	0,8	Furia et Bellanca (1975)
181	Divers aliments	0,3	CIVO-TNO (1994)

Annexe 7. Estimations sur l'absorption de 2-furaldéhyde provenant de produits de soins personnels (SCCNFP, 2004b de l'EURAR, 2008)

Type de produit	Quantité appliquée (grammes par application)	Fréquence d'application par jour	Facteur de rétention (%)	Substances parfumées dans le produit (%)	2-furaldéhyde dans les substances parfumées (%)	2-furaldéhyde dans le produit (ppm)	Quantité de 2-furaldéhyde (µg/jour)	Apport pour un individu de 60 kg (µg/kg p.c. par jour)
Lotion corporelle	8	1	100	0,4	0,036	1,44	11,52	0,192
Crème pour le visage	0,8	2	100	0,3	0,036	1,08	1,728	0,029
Eau de toilette	0,75	1	100	8,0	0,036	28,8	21,6	0,36
Crème parfumée	5	0,29	100	4,0	0,036	14,4	20,8	0,348
Bâton de déodorant	0,5	1	100	1,0	0,036	3,6	1,8	0,03
Shampooing	8	1	1	0,5	0,036	1,8	0,14	0,002
Produits pour le bain	17	0,29	1	2,0	0,036	7,2	0,355	0,006
Gel de douche	5	2	1	1,2	0,036	4,3	0,432	0,007
Savon de toilette	0,8	6	1	1,5	0,036	5,4	0,259	0,004
Laque pour cheveux	5	2	1	0,5	0,036	0,13	0,18	0,003
Dentifrice	1,4	2	17	1,0	0,002	0,2	0,095	0,002
Total								0,983

Annexe 8. Résumé de l'information portant sur les effets du 2-furaldéhyde sur la santé

Paramètre	Doses ou concentrations minimales avec effet ^a /Résultats
Essais sur des animaux de laboratoire et <i>in vitro</i>	
Toxicité aiguë	<p>DL₅₀ par voie orale (rats) = 50 à 149 mg/kg p.c. (Castelli <i>et al.</i>, 1967, cité dans UE, 2008).</p> <p>Autres valeurs de DL₅₀ par voie orale (souris) 400 à 500 mg/kg p.c.; (cobayes) 541 mg/kg p.c.; (chiens) 650 à 950 mg/kg p.c. (UE, 2008).</p> <p>DMENO par voie orale (rats) = 50 mg/kg p.c. selon les preuves de dommages au foie (diffusion de la formation globulaire éosinophile et augmentation des figures mitotiques sans nécrose zonale ou massive) observés 6 heures suivant l'exposition par gavage au 2-furaldéhyde (Shimizu et Kanisawa, 1986).</p> <p>CL₅₀ par inhalation (souris, 6 heures) = 490 mg/m³ (Marhold, 1972, cité dans UE, 2004).</p> <p>Autres valeurs de CL₅₀ par inhalation (rats, 4 heures) = 600 mg/m³ (UE, 2008).</p> <p>DL₅₀ par voie cutanée (rats) = 192 mg/kg p.c. (Joseph, 2003, cité dans USEPA, 2010)</p> <p>Autres valeurs de DL₅₀ par voie cutanée (lapins) > 310 mg/kg p.c. (Moreno, 1976, cité dans EU, 2004); (cobayes) < 10 000 mg/kg p.c. (UE, 2008).</p>

Paramètre	Doses ou concentrations minimales avec effet ^a /Résultats
Dose toxique à court terme pour l'exposition répétée	<p>DMENO par voie orale (rats) = 180 mg/kg p.c. par jour selon une activité réduite des glutamates pyruvates transaminases plasmatiques et un poids accru du foie chez les rats femelles exposés à des doses de 0, 30, 60, 90, 120 ou 180 mg/kg p.c. par jour de 2-furaldéhyde microencapsulé pendant 14 jours (Jonker, 2000a, citée dans l'UE, 2008).</p> <p>CMENO par inhalation (rats) = 20 mg/m³ selon une métaplasie et une hyperplasie au niveau de l'épithélium respiratoire transitionnel, dans la partie antérieure du museau des rats Fischer 344 (5 par groupe par sexe) exposés à des doses de 0, 20, 40, 80, 160, 320, 640 ou 1 280 mg/m³ de 2-furaldéhyde 6 heures par jour, 5 jours par semaine, pendant 4 semaines. Une mortalité liée au traitement a été constatée à 640 et 1 280 mg/m³. Les auteurs ont indiqué que les effets nocifs dépendaient davantage de la durée de l'exposition que de la concentration (Muijsers, 2001; Arts <i>et al.</i>, 2004, tous cités dans UE, 2008).</p> <p>DMENO par voie cutanée (rats) = 500 mg/kg p.c. par jour selon des signes cliniques nocifs (y compris une hypothermie, une hyperactivité et une immobilité des pattes arrières) et une augmentation de l'activité motrice chez les mâles, ainsi qu'une augmentation de la mortalité chez les mâles comme chez les femelles exposés à des doses de 0, 100, 250, 500 ou 1 000 mg/kg p.c. par jour de 2-furaldéhyde par application de la substance sur la peau rasée des rats (CrI:Wistar, 10 par sexe par dose) 6 heures par jour, 5 jours par semaine, pendant 28 jours. Aucun effet cutané n'a été constaté chez les rats exposés (cité dans USEPA, 2010).</p> <p>DMENO par voie orale (rats) = 240 mg/kg p.c. par jour selon une augmentation de la mortalité et une difficulté respiratoire chez les rats exposés par gavage à des doses de 0, 15, 30, 60, 120 ou 240 mg/kg p.c., 5 jours par semaine, jusqu'à un maximum de 12 doses sur une période de 16 jours (Irwin, 1990).</p> <p>DMENO par voie orale (souris) = 400 mg/kg p.c. par jour selon le décès des souris exposées par gavage à des doses de 0, 25, 50, 100, 200 ou 400 mg/kg p.c., 5 jours par semaine, jusqu'à un maximum de 12 doses sur une période de 16 jours (Irwin, 1990)</p> <p>DSENO par voie orale (rats) = 96 mg/kg p.c. par jour selon une exposition par gavage à des doses de 6, 12, 24, 48, 96 ou 192 mg/kg p.c. par jour pendant 28 jours. À l'exception d'une augmentation de la mortalité et du poids du foie chez les femelles ayant reçu la plus forte dose, aucun effet lié au traitement n'a été constaté; l'augmentation du poids du foie n'a pas pu être interprétée de façon adéquate en raison de la petite taille du groupe (seulement deux rats ont survécu) (Appel, 2001).</p> <p>DSENO par voie orale (rats) = 100 mg/kg p.c. par jour selon une exposition par gavage à des doses de 0, 30, 55 ou 100 mg/kg par jour pendant 28 jours. Aucun effet lié au traitement n'a été observé (Chengelis, 1997).</p>

Paramètre	Doses ou concentrations minimales avec effet ^a /Résultats
Toxicité subchronique	<p>DMENO par voie orale (souris) = 75 mg/kg p.c. par jour selon une augmentation relative du poids du foie observée chez les femelles des souris B6C3F1 exposées par gavage à des doses de 0, 75, 150, 300, 600 ou 1 200 mg/kg p.c. par jour, 5 jours par semaine, pendant 13 semaines. À une dose de 150 mg/kg p.c. par jour, une nécrose centro-lobulaire et une inflammation subchronique multifocale du foie ont été observées chez les mâles seulement, et à une dose de 300 mg/kg p.c. par jour, les mêmes effets sur le foie ont été constatés chez les mâles comme chez les femelles (Irwin, 1990).</p> <p>CMENO par inhalation (hamsters) = 448 mg/m³ selon des effets sur les fosses nasales (atrophie de l'épithélium olfactif, accumulation de cellules sensorielles dans la lamina propria, nombre de formations semblables à des kystes) observés chez les hamsters dorés de Syrie (18 à 30 par sexe par dose) ayant reçu par inhalation des doses de 0, 77, 448 ou 2 165 mg/m³ de 2-furaldéhyde, 6 heures par jour, 5 jours par semaine, pendant 13 semaine (Feron <i>et al.</i>, 1979, 1984).</p> <p>DMEO par voie orale (rats) = 11 mg/kg p.c. par jour selon une augmentation de vacuolisation accrue du cytoplasme des cellules hépatiques chez les rats Fisher 344 exposés par gavage à des doses de 0, 11, 22, 45, 90 ou 180 mg/kg p.c. par jour, 5 jours par semaine, pendant 13 semaines. Il s'agissait d'une étude de détermination des doses visant à déterminer les doses à utiliser dans une étude sur la cancérogénicité d'une durée de 2 ans dont les données relatives à la conception et aux observations étaient limitées (Irwin, 1990). L'Environmental Protection Agency des États-Unis a sélectionné une DMENO de 90 mg/kg p.c. par jour à partir de cette étude en fonction d'une augmentation considérable du poids du foie et des reins, ainsi que d'une augmentation de vacuolisation accrue du cytoplasme des cellules hépatiques chez les rats mâles exposés (USEPA, 2010).</p> <p>DMENO par voie orale (rats) = 82 mg/kg p.c. par jour selon des changements mineurs au niveau du foie (5/10, surtout dans la région péribiliaire, y compris des cellules avec un cytoplasme moins épais et une agglutination accrue des éosinophiles) et de légers effets sanguins (augmentation du volume corpusculaire ou de l'hémoglobine corpusculaire moyenne) chez les mâles. Des rats Fischer 344 mâles (10 par sexe par dose) ont reçu des doses de 0, 26, 53, 82 ou 160 mg/kg p.c. par jour de 2-furaldéhyde microencapsulé, tandis que les femelles ont reçu des doses de 0, 28, 57, 86 ou 170 mg/kg p.c. par jour (les doses nominales étaient de 0, 30, 60, 90 ou 180 mg/kg p.c. par jour chez les deux sexes) pendant 13 semaines. À la plus forte dose (160 mg/kg p.c. par jour), une diminution du nombre de globules rouges, une augmentation du poids du foie et de légers changements microscopiques au niveau du foie (10/10) ont été constatés, mais aucun changement macroscopique pathologique n'a été recensé chez les mâles. Aucun effet sur le foie n'a toutefois été constaté chez les femelles (Jonker, 2000b, 2000c, cités dans l'UE, 2008).</p> <p>Aucune étude concernant l'absorption cutanée n'a été recensée.</p>

Paramètre	Doses ou concentrations minimales avec effet ^a /Résultats
Toxicité chronique et cancérogénéité	<p>Cancérogénéité par voie orale chez les rats : Des rats F344/N (50 par sexe par dose) ont reçu des doses par gavage (dans de l'huile de maïs) de 0, 30 ou 60 mg/kg p.c. par jour de 2-furaldéhyde, 5 jours par semaine, pendant 103 semaines. Chez les rats mâles, un type moins commun de cholangiocarcinome et de dysplasie biliaire avec fibrose a été constaté à une dose de 60 mg/kg p.c. par jour chez 2 animaux sur 50. Aucune preuve de cancérogénéité n'a été recensée chez les rats femelles (Irwin, 1990).</p> <p>Effets non néoplasiques : DMENO (rats) = 30 mg/kg p.c. par jour selon une nécrose centro-lobulaire observée dans le foie des rats F344/N mâles (3/50, 9/50 et 12/50) et une augmentation des congestions des poumons chez les femelles (6/50, 6/50 et 23/50) ayant reçu des doses par gavage de 0, 30 ou 60 mg/kg p.c. par jour de 2-furaldéhyde, 5 jours par semaine, pendant 103 semaines (Irwin, 1990).</p> <p>Cancérogénéité par voie orale chez les souris : Des souris B6C3F (50 par sexe par dose) ont reçu des doses par gavage (dans de l'huile de maïs) de 0, 50, 100 ou 175 mg/kg p.c. par jour de 2-furaldéhyde, 5 jours par semaine, pendant 103 semaines. Une augmentation des adénomes hépatocellulaires a été recensée chez les souris mâles et femelles [9/50, 13/50, 11/49 et 19/50 (p=0,008) chez les mâles; 1/50, 3/50, 5/50 et 8/50 (p=0,017) chez les femelles], et une augmentation des carcinomes hépatocellulaires a été observée chez les souris mâles (7/50, 12/50, 6/49 et 21/50 [p = 0,001]). L'auteur a conclu qu'en dépit des preuves significatives de tumeurs spontanées du foie chez les groupes témoins, les tumeurs du foie des mâles ayant reçu une forte dose ont été attribuées au traitement au 2-furaldéhyde, tandis que les inflammations chroniques du foie pourraient avoir été favorables aux tumeurs (Irwin, 1990).</p> <p>Effets non néoplasiques : DMENO (souris) = 100 mg/kg p.c. par jour selon une toxicité bénigne au foie (inflammation chronique et pigmentation) observée chez les souris B6C3F₁ (50 par sexe par dose) (chez les mâles : 0/50, 0/50, 8/49, 18/50; chez les femelles : 0/50, 0/50, 1/50, 8/50) ayant reçu par gavage des doses de 0, 50, 100 ou 175 mg/kg p.c. par jour de 2-furaldéhyde, 5 jours par semaine, pendant 103 semaines (Irwin, 1990).</p> <p>Cancérogénéité par inhalation chez les hamsters : Des hamsters dorés de Syrie (de 18 à 30 par sexe par dose) ont reçu par inhalation des doses de 970 ou 1 550 mg/m³ de 2-furaldéhyde, 7 heures par jour, 5 jours par semaine, pendant 12 mois, puis de 29 semaines sans exposition. Aucune preuve de cancérogénéité au niveau des voies respiratoires n'a été observée (Feron et Hruysse, 1978).</p> <p>Études sur la cocancérogénéité par inhalation :</p> <p>Dans le cadre de la même étude susmentionnée (Feron et Kruysse, 1978), des groupes distincts ont reçu par voie intratrachéale de 0,35 à 0,70 mg de benzo[a]pyrène (B[a]P) (dans 0,2 mL de solution de NaCl à 0,9 %) par</p>

Paramètre	Doses ou concentrations minimales avec effet ^a /Résultats
	<p>semaine pendant 12 mois, ou une injection sous-cutanée de 0,125 µL de N-nitrosodiéthylamine (dans 0,2 mL de solution de NaCl à 0,9 %) toutes les 3 semaines pendant 12 mois, tout en étant exposés au 2-furaldéhyde à des doses de 970 ou 1 550 mg/m³. Aucune preuve de cancérogénicité accrue au niveau des voies respiratoires n'a été observée.</p> <p>Dans une autre étude limitée sur la cocancérogénicité par inhalation, des hamsters dorés de Syrie mâles et femelles (35 par sexe par groupe) ont été exposés par voie intratrachéale au 2-furaldéhyde (3 mg dans 0,2 mL de solution de NaCl à 0,9 %), avec une dose de 1 mg de B[a]P ou sans, ou seulement une dose de B[a]P par semaine pendant 36 semaines, suivie d'une période de rétablissement allant jusqu'à 78 semaines. Par rapport au traitement au B[a]P uniquement, qui a entraîné des tumeurs des voies respiratoires chez 41 des 62 hamsters, le traitement par voie intratrachéale de B[a]P et de 2-furaldéhyde a provoqué le développement précoce modifications métaplastiques de l'épithélium trachéobronchique, le raccourcissement de la période latente des tumeurs trachéobronchiques et l'augmentation du nombre de carcinomes squirrheux aux niveaux bronchiolaires (mâles et femelles combinés : 3 sur 61 par rapport à 0 sur 62 des témoins traités au B[a]P) et pulmonaires (mâles : 2 sur 32 par rapport à 1 sur 32 des témoins traités au B[a]P). Ces résultats laissent entendre des effets cocancérogènes du 2-furaldéhyde sur les voies respiratoires des hamsters. De plus, une augmentation des sarcomes pérित्रachéaux a été observée dans le groupe traité au B[a]P et au 2-furaldéhyde (33 % par rapport à 3 % dans le groupe traité uniquement au B[a]P). L'auteur a conclu qu'il n'existe pas d'indication que le 2-furaldéhyde possède une action cancérogène (Feron, 1972).</p> <p>Étude sur la cocancérogénicité par voie cutanée : Des souris 0CD-1 (20 par dose) ont été traitées par voie cutanée, sur la peau du dos, au 2-furaldéhyde (4,8 mg dans des aliquotes de 0,1 mL de DMSO) deux fois par semaine pendant 5 semaines, avec ou sans traitement subséquent au promoteur 12-O-tétradécanoylphorbol-13-acétate (TPA, 2,5 µg dans 0,1 mL d'acétone) deux fois par semaine pendant les 47 semaines suivantes. Dans cette étude à deux phases sur la cancérogénicité par voie cutanée, on a observé un plus grand nombre de tumeurs cutanées dans le groupe traité au 2-furaldéhyde et au TPA (5/20, 25 %) par rapport au groupe traité au 2-furaldéhyde seulement (0/20) et au groupe traité au TPA seulement (1/20, 5 %). L'auteur a conclu que le 2-furaldéhyde pourrait posséder une action favorable aux tumeurs (Miyakawa <i>et al.</i>, 1991).</p>
Toxicité pour la reproduction	Aucune étude n'a été recensée.

Paramètre	Doses ou concentrations minimales avec effet ^a /Résultats
Toxicité pour le développement	<p>DMENO (toxicité maternelle) = 50 mg/kg p.c. par jour selon un gonflement des yeux constaté chez les rats Sprague-Dawley ayant reçu des doses par gavage de 0, 50, 100 ou 150 mg/kg p.c. par jour de 2-furaldéhyde pendant les jours 6 à 15 de gestation. Le décès de 3 mères sur 25 et de 16 mères sur 25 chez les groupes ayant reçu une dose modérée et élevée au cours des jours 6 à 18 de gestation (JG) a été recensé. Dans le groupe ayant reçu la plus forte dose (150 mg/kg p.c. par jour), une réduction non significative sur le plan statistique du poids corporel fœtal moyen (une portée) a été observée, mais cette dose n'a pas pu être évaluée en raison du faible taux de survie (seulement 7 femelles gravides ont survécu à cette dose). Toutefois, on ne peut exclure que cet effet pourrait être causé par la toxicité maternelle. Aucun effet tératogène n'a été observé (Nemec, 1997, cité dans l'UE, 2008).</p> <p>Aucune étude d'inhalation ou dermique n'a été recensée.</p>
Génotoxicité et paramètres connexes : <i>in vivo</i>	<p>Mutation Résultats négatifs : Des souris CD2F₁ mâles (souche transgénique 40,6, λ lacZ, 13 par groupe, 8 par témoin positif (ayant reçu une solution d'éthylnitroso-urée mutagène) ont reçu par gavage (dans de l'huile de maïs) des doses de 0, 75, 150 ou 300 mg/kg p.c. par jour de 2-furaldéhyde pendant 28 jours. Aucune induction de mutation liée au traitement dans les hépatocytes n'a été observée au cours de cet essai de mutation sur des souris transgéniques (gène lacZ) (Steenwinkel et Krul, 2003, cité dans l'UE, 2008).</p> <p>Aberrations chromosomiques Résultats négatifs : Des souris B6C3F₁ mâles (10 par dose) ont reçu par injection intrapéritonéale des doses uniques de 0, 50, 100 ou 200 mg/kg p.c. de 2-furaldéhyde. Aucune induction d'aberrations chromosomiques n'a été observée dans les cellules de moelle osseuse (Irwin, 1990).</p> <p>Essai d'échange de chromatides sœurs Résultats négatifs : Des souris B6C3F₁ mâles (10 par dose) ont reçu par injection intrapéritonéale des doses uniques de 0, 50, 100 ou 200 mg/kg p.c. de 2-furaldéhyde. Aucune induction d'échange de chromatides sœurs n'a été observée dans les cellules de moelle osseuse (Irwin, 1990).</p> <p>Dommmages à l'ADN Résultats négatifs : Des souris B6C3F₁ ont reçu par gavage des doses uniques de 0, 50, 175 ou 320 mg/kg p.c. de 2-furaldéhyde. Aucune induction de synthèse non programmée de l'ADN dans des cellules hépatiques n'a été recensée (Lake <i>et al.</i>, 2001).</p> <p>Résultats négatifs : Des rats F344 ont reçu par gavage des doses uniques de 0, 5, 16,7 ou 50 mg/kg p.c. de 2-furaldéhyde. Aucune induction de synthèse non programmée de l'ADN dans des cellules hépatiques n'a été recensée (Lake <i>et al.</i>, 2001).</p>

Paramètre	Doses ou concentrations minimales avec effet ^a /Résultats
	<p>Essai de perte de chromosomes Résultats ambigus : Des <i>Drosophila melanogaster</i> mâles adultes ont reçu par gavage ou injection des doses de 0, de 3 750 ou de 5 000 ppm de 2-furaldéhyde, puis ont été accouplés avec des femelles avec pouvoir de réparation et sans pouvoir de réparation. Une perte totale ou partielle des chromosomes X ou Y a été constatée dans les cellules somatiques des mâles à la suite de leur accouplement avec des femelles sans pouvoir de réparation, mais des résultats négatifs ont été recensés dans les cellules somatiques des mâles à la suite de leur accouplement avec des femelles avec pouvoir de réparation (Rodriguez-Arnaiz <i>et al.</i>, 1992).</p> <p>Test de mutation des ailes Résultats positifs : Des <i>Drosophila melanogaster</i> ont reçu par inhalation des doses de 0, 3 750, 5 000 ou 7 500 ppm de 2-furaldéhyde. Une hausse considérable de petites taches uniques et du total de taches dans les cellules somatiques des <i>Drosophila</i> traités a été observée et considérée comme étant liée à la dose et comme une indication de l'induction de mutation. (Rodriguez-Arnaiz <i>et al.</i>, 1992).</p> <p>Essai de mutation létale récessive associée au sexe Résultats ambigus : Des <i>Drosophila melanogaster</i> ont reçu par injection des doses de 0 ou 100 ppm de 2-furaldéhyde, ou par gavage des doses de 0 ou 1 000 ppm de la substance pendant 3 jours. Une induction de mutation a été recensée dans le groupe traité par injection, mais pas chez le groupe traité par gavage, et aucune induction de translocation réciproque des mouches n'a été constatée (Woodruff <i>et al.</i>, 1985).</p>
Génotoxicité et paramètres connexes : <i>in vitro</i>	<p>Mutagénicité chez les bactéries Résultats ambigus : Dans la souche TA100 du <i>Salmonella typhimurium</i>, avec ou sans activation métabolique (Zdzienicka <i>et al.</i>, 1978; Loquet <i>et al.</i>, 1981; NTP des États-Unis, 1990; Dillon <i>et al.</i>, 1992, tous cités dans l'UE, 2008).</p> <p>Résultats négatifs : Dans les souches TA98, TA102, TA104, TA1535 ou TA1537 du <i>Salmonella typhimurium</i>, avec ou sans activation métabolique (Zdzienicka <i>et al.</i>, 1978; Loquet <i>et al.</i>, 1981; NTP des États-Unis, 1990; Dillon <i>et al.</i>, 1992, tous cités dans l'UE, 2008).</p> <p>Mutagénicité dans les cellules de mammifères Résultat positif dans la mutation au locus <i>tk</i> des cellules de lymphomes de souris (L5178Y) sans activation métabolique (McGregor <i>et al.</i>, 1988).</p> <p>Aberrations chromosomiques Résultats négatifs dans les cellules V79 de hamsters chinois, sans activation métabolique (Nishi <i>et al.</i>, 1989, cité dans l'UE, 2008)</p> <p>Résultats positifs dans les cellules ovariennes de hamsters chinois, avec et sans activation métabolique (Stich <i>et al.</i>, 1981; Galloway <i>et al.</i>, 1985; Gudi <i>et al.</i>, 1996, tous cités dans l'UE, 2008).</p>

Paramètre	Doses ou concentrations minimales avec effet ^a /Résultats
	<p>Synthèse non programmée de l'ADN Résultats négatifs dans le tissu du foie humain ou le tissu épithélial des fosses nasales des rats (Wilmer <i>et al.</i>, 1987; Lake <i>et al.</i>, 2001).</p> <p>Échange de chromatides sœurs Résultats positifs dans les lymphocytes humains, sans activation métabolique (Gomez-Arroyo et Souza, 1985).</p> <p>Résultats positifs dans les cellules ovariennes de hamsters chinois, avec et sans activation métabolique (Galloway <i>et al.</i>, 1985).</p> <p>Essai de déroulement alcalin Résultats positifs : Une augmentation du nombre de ruptures de l'ADN double brin de thymus de veau a été constatée (Hadi <i>et al.</i>, 1989).</p> <p>Autre : Essai d'inhibition de la synthèse d'ADN Résultats positifs : Une inhibition de la synthèse de l'ADN a été recensée dans un essai utilisant des cellules Hela S₃ traitées au 2-furaldéhyde (Heil et Reifferscheid, 1992).</p> <p>Activation des oncogènes Résultats positifs : Une fréquence élevée des oncogènes activés a été détectée dans le foie des souris B6C3F1 traitées au 2-furaldéhyde (Reynolds <i>et al.</i>, 1987).</p>

Paramètre	Doses ou concentrations minimales avec effet ^a /Résultats
Humains	
Études épidémiologiques	<p data-bbox="488 268 1084 300">Quelques études sur les humains ont été recensées.</p> <p data-bbox="488 338 1383 1003">Dans le cadre d'une étude de cas, 65 travailleurs (43 hommes et 22 femmes) d'une usine de fabrication de 2-furaldéhyde ont été examinés. Les concentrations d'exposition au 2-furaldéhyde variaient de moins de 10 mg/m³ (concentration non spécifiée des extraits) à 10 mg/m³ (enzymes hydrolysants), de 20 à 30 mg/m³ (à proximité des enzymes hydrolysants), et de 50 à 70 mg/m³ pendant de courtes périodes de temps à l'ouverture des enzymes hydrolysants aux fins de nettoyage. Les plaintes déposées par des travailleurs concernaient des maux de tête périodiques, des étourdissements (moins fréquents), une fatigue générale, des irritations plus fréquentes et des symptômes de dyspepsie. Aucun changement considérable n'a été recensé quant aux signes hématologiques et biologiques, ainsi qu'à la condition des organes internes. Vingt-six travailleurs présentaient une teneur en chlore réduite dans le sang. Une certaine dépression de l'activité de la cholinestérase a été observée dans le plasma sanguin et les érythrocytes (sans plus de détail). Cette étude n'indiquait pas clairement si les symptômes étaient apparus après un contact avec du 2-furaldéhyde ou s'ils existaient antérieurement. Aucune précision n'était indiquée sur le groupe témoin, la façon dont les travailleurs ont été examinés (c.-à-d. le contrôle du 2-furaldéhyde) ou la façon dont l'exposition a été évaluée (Vinogradova <i>et al.</i>, 1968, cité dans UE, 2008).</p> <p data-bbox="488 1041 1383 1541">Dans le cadre d'une surveillance des employés d'usines de fabrication de produits de carbone, la mortalité de 2 219 employés masculins a été suivie de 1974 à 1983. Des six usines soumises à cette étude, une usine démontrait une mortalité excessive liée aux cancers respiratoires (5 cas observés, 1,4 cas prévu). Cet excès n'a pas été considéré dans les différences régionales des taux de mortalité. Les expositions les plus préoccupantes de cette usine concernaient les expositions au formaldéhyde, à la silice, au 2-furaldéhyde, à l'alcool furfurylique et à l'amiante. Aucune donnée n'était disponible sur les concentrations de ces substances. Les sujets avaient fumé des cigarettes et avaient travaillé pendant au moins 25 ans dans l'usine. Même si les données disponibles sont insuffisantes pour confirmer que l'exposition à l'amiante et le tabagisme étaient préoccupantes d'un point de vue étiologique pour ces décès, les auteurs n'ont pas pu désigner d'autres facteurs de risques auxquels ce résultat pourrait être attribué (Teta <i>et al.</i>, 1987).</p> <p data-bbox="488 1579 1383 1745">Une étude limitée, dont les données relatives à l'exposition sont insuffisantes, stipule qu'aucune différence considérable n'a été notée entre l'incidence chez les témoins non exposés et les travailleurs exposés au 2-furaldéhyde dans le cadre de leur profession (Gomez-Arroyo et Souza, 1985).</p>

^a CL₅₀, concentration létale médiane; DL₅₀, dose létale médiane; CMENO, concentration minimale avec effet nocif observé; DMENO, dose minimale avec effet nocif observé; DMEO, dose minimale avec effet observé.