



anses

# **Identification de travaux ou de procédés à inscrire à l'arrêté fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes**

## **Procédés ou travaux exposant aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)**

Avis de l'Anses  
Rapport d'expertise collective

Juin 2024

CONNAÎTRE, ÉVALUER, PROTÉGER



Le directeur général

Maisons-Alfort, le 18 juin 2024

## AVIS de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

relatif à l'identification de procédés ou travaux à inscrire à l'arrêté  
fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes

### Expertise relative aux procédés ou travaux exposant aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

---

*L'Anses contribue principalement à assurer la sécurité sanitaire dans les domaines de l'environnement, du travail et de l'alimentation et à évaluer les risques sanitaires qu'ils peuvent comporter.*

*Elle contribue également à assurer d'une part la protection de la santé et du bien-être des animaux et de la santé des végétaux et d'autre part à l'évaluation des propriétés nutritionnelles des aliments.*

*Elle fournit aux autorités compétentes toutes les informations sur ces risques ainsi que l'expertise et l'appui scientifique technique nécessaires à l'élaboration des dispositions législatives et réglementaires et à la mise en œuvre des mesures de gestion du risque (article L.1313-1 du code de la santé publique).*

*Ses avis sont publiés sur son site internet.*

---

L'Anses a été saisie le 17 novembre 2017 par la Direction générale du travail (DGT) pour la réalisation d'une série d'expertises dans le cadre de « l'identification de nouveaux procédés cancérogènes à inscrire à l'arrêté du 5 janvier 1993 modifié fixant la liste des substances, préparations et procédés cancérogènes ».

#### 1. CONTEXTE ET OBJET DE LA SAISINE

Le Code du travail définit, dans son article R.4412-60, les agents chimiques cancérogènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction (CMR) comme étant :

- toute substance ou mélange répondant aux critères de classification dans la catégorie 1A ou 1B des substances ou mélanges CMR définis à l'annexe I du règlement (CE) n° 1272/2008 relatif à la classification, l'étiquetage et l'emballage des substances et des mélanges (CLP) ;
- toute substance, tout mélange ou tout procédé inscrit dans **un arrêté conjoint des ministres chargés du travail et de l'agriculture fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes.**

Actuellement, la liste figurant dans cet arrêté<sup>1</sup> est essentiellement issue de la transposition de directives européennes (à l'exception du formaldéhyde pour lequel la décision a été prise au niveau national) et comporte les procédés suivants :

- fabrication d'auramine ;
- travaux exposant aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) présents dans la suie, le goudron, la poix, la fumée ou les poussières de la houille ;
- travaux exposant aux poussières, fumées ou brouillards produits lors du grillage et de l'électroraffinage des mattes de nickel ;
- procédé à l'acide fort dans la fabrication d'alcool isopropylique ;
- travaux exposant aux poussières de bois inhalables ;
- travaux exposant au formaldéhyde ;
- travaux exposant à la poussière de silice cristalline alvéolaire issue de procédés de travail ;
- travaux entraînant une exposition cutanée à des huiles minérales qui ont été auparavant utilisées dans des moteurs à combustion interne pour lubrifier et refroidir les pièces mobiles du moteur ;
- travaux exposant aux émissions d'échappement de moteurs Diesel.

De ce classement découle l'obligation d'application par les employeurs des dispositions réglementaires particulières applicables aux agents chimiques CMR, impliquant notamment une obligation de substitution dès que cela est techniquement possible.

En novembre 2017, compte-tenu de l'actualité réglementaire européenne concernant la révision de la directive 2004/37/CE relative à la protection des travailleurs contre les risques liés aux cancérogènes ou mutagènes, la Direction générale du travail (DGT) a saisi l'Anses, afin d'apporter un avis sur les nouveaux procédés cancérogènes pouvant relever de cet arrêté. La saisine de la DGT se décline en deux temps.

**Dans un premier temps**, l'Anses a été saisie, via un appui scientifique et technique, afin de déterminer si quatre procédés identifiés par la DGT, pour lesquels il y a une forte suspicion du caractère cancérogène (sans qu'il existe de cadre réglementaire clair pour le définir), conjuguée à une forte occurrence en milieu professionnel, peuvent relever de cet arrêté.

Les quatre procédés identifiés par la DGT étaient :

- les travaux exposant aux fumées de soudage ;
- les travaux exposant à la silice cristalline ;
- les travaux exposant aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ;
- les travaux exposant aux cytostatiques.

Il a également été demandé à l'Anses d'indiquer, le cas échéant, s'il existe des données de nature à mieux préciser et/ou restreindre le champ de ces quatre procédés pour le premier trimestre 2018.

Les travaux menés sur ces quatre procédés ont fait l'objet d'une note d'appui scientifique et technique (AST) publiée le 20 avril 2018 (Anses 2018), qui indiquait, faute de pouvoir conclure

---

<sup>1</sup> Il s'agit de l'arrêté du 26 octobre 2020 fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes au sens du Code du travail et abrogeant l'arrêté du 5 janvier 1993.

dans les délais impartis, la nécessité d'approfondir l'examen concernant les travaux exposant aux fumées de soudage, aux HAP et aux cytostatiques. Les travaux exposant à la poussière de silice cristalline alvéolaire issue de procédés de travail ont été classés comme procédés cancérigènes par l'arrêté du 26 octobre 2020 transposant la directive (UE) 2017/2398.

L'Anses a ensuite publié ses conclusions en mars 2021 pour les travaux exposant aux cytotoxiques (Anses 2021) et en février 2022 pour les travaux exposant aux fumées de soudage (Anses 2022).

**Dans un second temps**, il a été également demandé à l'Anses :

- de proposer une méthode permettant de conclure à la classification d'un procédé cancérigène et de définir des critères de classification pour justifier de l'inclusion d'un procédé à l'arrêté. Ce travail a donné lieu en juillet 2023 à la publication d'un guide méthodologique (Anses 2023) ;
- d'identifier, sur la base de cette démarche et des informations jugées pertinentes, de nouveaux procédés cancérigènes pouvant relever de cet arrêté ou d'une réglementation européenne ;
- de proposer une démarche en vue de prioriser les procédés pouvant justifier d'un intérêt en vue d'une classification.

Une liste hiérarchisée de procédés à expertiser pour une éventuelle inclusion dans l'arrêté français fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérigènes a ainsi été établie par l'Anses (Anses 2024), en réponse aux deux derniers points du paragraphe précédent.

Dans le cadre de l'identification des procédés ou travaux exposant aux HAP pertinents pour une inclusion à l'arrêté fixant la liste des substances, mélanges ou procédés cancérigènes, la présente expertise examine plus précisément les travaux exposant aux émissions de friture à hautes températures.

## 2. ORGANISATION DE L'EXPERTISE

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – Prescriptions générales de compétence pour une expertise (Mai 2003) ».

L'expertise relève du domaine de compétences du comité d'experts spécialisé (CES) « Valeurs sanitaires de référence » (CES VSR). L'Anses a confié l'expertise au groupe de travail « Procédés cancérigènes ». Le présent avis se fonde, pour les aspects scientifiques, sur le rapport d'expertise collective de décembre 2023 intitulé « rapport relatif à l'établissement d'une liste hiérarchisée de procédés à expertiser pour une éventuelle inclusion dans l'arrêté français fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérigènes ».

Les travaux d'expertise relatifs à l'identification de procédés ou travaux exposant aux HAP à inscrire à l'arrêté fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérigènes ont été suivis et présentés au CES VSR tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques, les 25 janvier et 15 mars 2024.

Ces travaux d'expertise collective ont été adoptés par le CES VSR réuni le 15 mars 2024.

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts avant leur nomination et tout au long des travaux, afin d'éviter les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre de l'expertise.

Les déclarations d'intérêts des experts sont publiées sur le site internet : <https://dpi.sante.gouv.fr/>.

#### Description de la méthode scientifique :

Afin d'identifier des procédés ou travaux exposant aux HAP pouvant relever de l'arrêté fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérigènes ou d'une réglementation européenne, les experts se sont appuyés sur la démarche décrite dans le guide méthodologique permettant d'identifier un procédé comme cancérigène, publié en juillet 2023 (Anses 2023).

Pour hiérarchiser les différents procédés ou travaux exposant aux HAP, la méthode SIRIS (Système d'Intégration des Risques par Interaction des Scores) a été mise en œuvre. Il s'agit d'une méthode mathématique combinatoire de facteurs permettant, à la différence d'autres méthodes mathématiques, de retenir à la fois des critères qualitatifs et quantitatifs.

Au regard du résultat obtenu par l'application de la méthode Siris, une extraction des données de la base COLCHIC<sup>2</sup> a été réalisée par l'Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles (INRS) sur la période 1987-2021 afin d'extraire les mesures de concentrations atmosphériques des 16 HAP<sup>3</sup> classés prioritaires par l'agence américaine de protection de l'environnement (US EPA), et potentiellement en lien avec la réalisation de friture.

Deux recherches bibliographiques ont été réalisées sur Scopus et Pubmed afin de tenir compte des éventuelles données publiées après les conclusions de la monographie 95 du centre international de recherche sur le cancer (CIRC) de 2010 sur les travaux exposant aux émissions de friture à hautes températures : sur la période 2005 - janvier 2023, afin d'actualiser les données épidémiologiques disponibles sur leur cancérigénicité, et sur la période 2005 - septembre 2023 afin de documenter les expositions professionnelles.

### **3. ANALYSE ET CONCLUSIONS DU CES VSR**

#### **Périmètre de l'expertise**

La demande émanant de la DGT portait sur la justification de l'inclusion des travaux exposant aux HAP dans l'arrêté français fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérigènes, arrêté qui permet notamment de transposer en droit français l'annexe I de la directive 2004/37/CE lorsque celle-ci est amenée à évoluer. Pour pouvoir être inclus dans l'arrêté, une substance, un mélange ou un procédé doit répondre aux critères de classification des agents cancérigènes dans les catégories 1A et 1B définis dans le règlement CLP ou à des critères pouvant être jugés équivalents à ces derniers. Il est à souligner que l'objectif de

---

<sup>2</sup> Il s'agit d'une base de données mise en place en 1987 par l'INRS qui collecte les données sur les expositions professionnelles aux agents chimiques (mesures d'exposition individuelle ou d'ambiance) en France effectuées par les laboratoires des caisses d'assurance retraite et sécurité au travail (Carsat) et de l'INRS.

<sup>3</sup> Acénaphthène, acénaphthylène, anthracène, benzo[a]anthracène, benzo[a]pyrène, benzo[b]fluoranthène, benzo[g,h,i]pérylène, benzo[k]fluoranthène, chrysène, dibenzo[a,h]anthracène, fluoranthène, fluorène, indéno[1,2,3-cd]pyrène, naphthalène, phénanthrène et pyrène.

cette expertise n'était pas d'évaluer en détail les données de cancérogénicité au regard des critères de classification selon le règlement CLP de chaque HAP de façon individuelle, mais de s'appuyer sur des évaluations déjà existantes de la cancérogénicité pour des procédés ou travaux exposant à des mélanges de HAP.

### **Identification des procédés ou travaux exposant aux HAP à considérer pour une éventuelle inclusion dans l'arrêté dans le cadre de cette expertise**

En application du guide méthodologique de l'Anses permettant l'identification d'un procédé comme cancérogène, les procédés ou travaux exposant aux HAP considérés dans cette expertise sont ceux répondant aux critères de classification détaillés dans le guide méthodologique, à savoir les travaux ou procédés classés 1 (cancérogènes avérés pour l'Homme) ou 2A (probablement cancérogènes pour l'Homme) par le CIRC, 1A (cancérogènes chez l'Homme) ou 1B (cancérogènes présumés chez l'Homme) par le comité d'experts néerlandais sur la sécurité au travail (DECOS) et « cancérogènes connus pour l'Homme » par le programme national de toxicologie (NTP) américain (Anses 2023).

Les experts ont ensuite exclu de la liste des 19 procédés ou travaux ainsi identifiés, les 9 procédés ou travaux déjà visés par l'arrêté français fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes ou exposant à des substances déjà classées cancérogènes par le règlement CLP (cas des travaux exposant aux créosotes).

L'examen des procédés et travaux exposant aux HAP classés restants a identifié que 6 d'entre eux exposent non seulement à des HAP mais également à plusieurs autres agents chimiques susceptibles d'être également à l'origine des effets cancérogènes. De ce fait, les experts ont considéré que leur cancérogénicité n'a pas à être évaluée dans le cadre spécifique de l'expertise relative aux travaux exposant aux HAP. Les travaux exposant dans l'industrie de la fabrication du caoutchouc, dans les métiers de peintre, de pompier, lors de la fabrication de verrerie d'art, de récipients en verre et d'articles en verre pressé, lors de la fonte de fer et d'acier et lors du raffinage du pétrole ont ainsi été considérés lors de l'établissement d'une liste hiérarchisée de procédés à expertiser pour une éventuelle inclusion dans l'arrêté français fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes (Anses 2024).

Au final, 4 procédés ont été retenus comme pertinents à expertiser, à savoir les travaux exposant aux huiles de schiste, les travaux exposant aux huiles minérales non traitées ou légèrement traitées, les expositions aux bitumes oxydés et à leurs émissions lors de travaux d'étanchéité de toitures et les travaux exposant aux émissions de friture à hautes températures.

Les experts ont décidé de classer par ordre de priorité ces 4 procédés ou travaux exposant aux HAP en appliquant la méthode SIRIS. Pour cette hiérarchisation, les experts ont utilisé les mêmes critères et scores que ceux utilisés pour l'établissement de la liste hiérarchisée de procédés à expertiser en vue d'une inclusion à l'arrêté français fixant la liste des procédés cancérogènes (Anses 2024).

Les experts ont donc retenu 2 critères pouvant influencer la hiérarchisation des procédés et pour lesquels les données pouvaient être disponibles ou accessibles : le nombre de travailleurs potentiellement exposés en France et la classification cancérogène du procédé par le CIRC considérée à la date de septembre 2023. Au regard de la difficulté à collecter des données estimant le nombre de travailleurs potentiellement exposés par la mise en œuvre des procédés ou travaux exposant aux HAP retenus, les experts ont décidé d'utiliser par défaut le nombre de travailleurs des secteurs d'activités susceptibles de mettre en œuvre le procédé.

Le renseignement de ce critère s'est basé sur l'examen des données de la caisse nationale d'assurance maladie (CNAM), des données de l'institut national de la statistique et des données économiques (INSEE), ou d'informations disponibles sur les sites internet de fédérations professionnelles.

Les experts ont accordé plus d'importance au critère « nombre de travailleurs potentiellement exposés » qu'au critère « classification cancérogène ». Pour l'application de la méthode SIRIS, le critère « nombre de travailleurs potentiellement exposés » a été divisé en 5 niveaux et le critère « classification cancérogène » en 3 niveaux (cf. annexe 1 de l'avis).

Dans la mesure où le calendrier de traitement de ces travaux permettait l'expertise de la cancérogénicité d'un seul procédé, les experts ont décidé d'examiner le procédé ayant obtenu le score le plus élevé lors de la hiérarchisation, à savoir les travaux exposant aux émissions de friture à hautes températures. Les trois autres procédés ou travaux exposant aux HAP ont été pris en compte dans le cadre des travaux relatifs à l'établissement d'une liste hiérarchisée de procédés à expertiser pour une éventuelle inclusion dans l'arrêté français fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes (Anses 2024).

En ce qui concerne les travaux exposant aux huiles minérales non ou légèrement traitées, les experts soulignent que les huiles minérales destinées à la lubrification sont, depuis les années 60, des huiles désormais sévèrement raffinées et donc à teneur réduite en HAP lorsqu'elles sont neuves, réduisant ainsi leur cancérogénicité, comme cela a été souligné par le CIRC dans la monographie 100F (IARC 2012). Les experts tiennent, par ailleurs, à souligner que les huiles minérales usagées et/ou régénérées, c'est-à-dire issues du recyclage d'huiles usagées, peuvent contenir de fortes concentrations d'HAP. A l'exception des travaux entraînant une exposition cutanée à des huiles usagées utilisées dans des moteurs à combustion interne, les huiles usagées ne figurent pas dans l'arrêté fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes et leur cancérogénicité, ou celle des procédés les utilisant, n'ont été évaluées par aucun organisme de référence.

### **Expertise de la cancérogénicité des travaux exposant aux émissions de friture à hautes températures**

Dans la monographie 95 du CIRC, les émissions de friture à hautes températures concernent les émissions liées aux 3 modes de cuisson suivants : le sauté à la poêle (stir-frying), la friture à la poêle (pan frying) et à la friture profonde (deep frying).

#### ▪ Description de la méthodologie mise en œuvre

Le classement des travaux exposant aux émissions de friture à hautes températures par le CIRC dans le groupe 2A (probablement cancérogène pour l'Homme), établi en 2010, repose sur :

- des preuves limitées de cancérogénicité chez l'Homme (pour le cancer du poumon), essentiellement fondées sur les résultats de 4 études cas-témoins dont une seule prenait en compte la co-exposition aux fumées des combustibles utilisés ;
- des preuves expérimentales et mécanistiques suffisantes :
  - l'induction de tumeurs pulmonaires chez les animaux de deux espèces de rongeurs (rats et souris), exposés à des émissions de friture à hautes températures avec de l'huile de colza non raffinée ;



- un potentiel génotoxique faible des émissions de friture lorsque les huiles de cuisson étaient chauffées à une température inférieure à 100°C et un potentiel génotoxique élevé lorsque les huiles de cuisson étaient chauffées à plus de 230°C.

Afin de tenir compte des éventuelles données publiées après les conclusions rendues par le CIRC dans son évaluation de 2010, une revue de la littérature des publications épidémiologiques évaluant le risque cancérigène des émissions de friture à hautes températures a été réalisée.

Depuis la monographie du CIRC de 2010, sont parues dans la littérature épidémiologique 12 nouvelles publications jugées d'intérêt :

- cinq études cas témoins, une étude de cohorte et deux méta-analyses en lien avec le risque de cancer broncho-pulmonaire ;
- trois études cas témoins en lien avec les risques de lésions précancéreuses du col de l'utérus, de cancer nasopharyngé et de cancer de la cavité buccale ;
- une étude de cohorte en lien avec les risques de cancer colorectal et de cancer du sein.

#### ▪ Analyse et résultats

S'agissant du cancer broncho-pulmonaire, les résultats des cinq études cas témoins (Y. Lin et Cai 2012; Lo et al. 2013; Liang et al. 2019; Chen et al. 2020; Moayedi-Nia et al. 2022), de l'étude de cohorte (P.-C. Lin et al. 2019) et des deux méta-analyses (Xue et al. 2016; Jia et al. 2018) parues après les conclusions du CIRC sont globalement cohérents avec ceux des études analysées dans la monographie du CIRC de 2010 (IARC 2010a) et confirment le caractère cancérigène sur le poumon des émissions de friture à hautes températures.

Les résultats rapportés, après la monographie du CIRC de 2010, dans la littérature pour les cancers sur d'autres organes, à savoir, les lésions précancéreuses du col de l'utérus (C. Lee et al. 2010), le cancer nasopharyngé (Y.-Q. He et al. 2015), le cancer de la cavité buccale (B. He et al. 2016), le cancer colorectal et le cancer du sein (P.-C. Lin et al. 2021), ne permettent pas de conclure quant à la cancérigénicité des émissions de friture à hautes températures sur ces organes.

Les experts tiennent à souligner que les publications ayant permis de conclure à la cancérigénicité sur le poumon des émissions de friture, rapportées par le CIRC ou parues après la monographie du CIRC, concernent majoritairement des études menées en Asie, dans le cadre d'activités domestiques, pour lesquelles les émissions d'huiles de friture peuvent différer de celles engendrées lors des pratiques culinaires occidentales, voire françaises (différences dans les types de friture mises en œuvre, les huiles ou matières grasses utilisées, les types de cuisine, équipements de ventilation mis en œuvre, dans les combustibles utilisés pour réaliser les opérations de friture, etc.) .

Néanmoins, l'analyse des études publiées après la monographie du CIRC de 2010 (à la date de septembre 2023) conforte la classification du CIRC dans le groupe 2A des travaux exposant aux émissions de friture à hautes températures pour le cancer du poumon et ne permet pas de conclure à la cancérigénicité sur d'autres organes cibles.

En conclusion, les preuves épidémiologiques limitées chez l'Homme et les preuves animales et mécanistiques déjà jugées suffisantes dans la monographie du CIRC, permettent de

conclure à la probable cancérogénicité (groupe 2A du CIRC) des travaux exposant aux émissions de friture avec des graisses animales ou végétales.

▪ Expositions aux émissions de friture à hautes températures

Lors de la friture, l'augmentation de la température favorise les transformations physiques et biochimiques de la matière grasse et des aliments, notamment la décomposition des esters d'acides gras des huiles ou des graisses en composés organiques volatils ou semi-volatils pouvant se condenser pour former des particules fines (PM<sub>2,5</sub>) et ultrafines (PM<sub>0,1</sub>) (IARC 2010a). En plus des particules fines et ultrafines (Wallace, Emmerich, et Howard-Reed 2004; Brauer et al. 2000; Schauer et al. 1998), une grande variété de composés organiques a été identifiée dans les émissions de friture notamment des HAP (Chiang, Wu, et Ko 1999), des aldéhydes (Schauer et al. 1998), des amines aromatiques (Chiang et al. 1999), de l'acrylamide (Hsu, Inbaraj, et Chen 2006).

La composition des émissions de friture varie selon :

- **le type de friture** (sauté à la poêle, friture à la poêle et friture profonde) : du fait de la quantité importante d'huile utilisée, la friture profonde émet plus de particules fines et ultrafines et d'HAP que le sauté à la poêle ou la friture à la poêle (Wei See, Karthikeyan, et Balasubramanian 2006; Y.-C. Li et al. 2018; Vainiotalo et Matveinen 1993; I.-J. Lee et al. 2022) ;
- **la matière grasse utilisée** : le type de matière grasse utilisée influence plus fortement la composition chimique des émissions de friture que le type de friture (Yao et al. 2015). La qualité de la matière grasse influence aussi la composition en HAP des émissions (An, Liu, et Liu 2017) ;
- **la température de friture** : l'augmentation de la température de la friture favorise les émissions de composés organiques volatils (J.-S. Lin et al. 2007) ;
- **le temps de cuisson** : la friture longue favorise les émissions d'HAP (Lewné et al. 2017) ;
- **le type d'aliments frits** : la friture d'aliments riches en matière grasse favorise les émissions d'HAP (Y.-C. Li et al. 2018) ;
- **la source d'énergie utilisée pour la cuisson** : la cuisson au gaz est plus émettrice de particules ultrafines et de HAP que la cuisson électrique (Sjaastad, Jørgensen, et Svendsen 2010; Jørgensen et al. 2013; Lewné et al. 2017).

L'exposition des travailleurs aux HAP et particules des émissions de friture peut être réduite par l'installation d'un système d'extraction de fumées (Chih-Hong Pan et al. 2011).

L'interrogation de la base de données COLCHIC pour accéder aux mesures d'exposition des travailleurs exposés aux HAP lors de la décomposition thermique d'huiles et de graisses alimentaires n'a donné aucun résultat statistiquement exploitable, reflétant ainsi un manque de préoccupation en France pour les émissions de friture.

Les experts soulignent que les publications évaluant l'exposition des travailleurs aux HAP lors d'opérations de friture sont principalement menées en Asie, reflétant également plus globalement le peu de préoccupation pour les expositions professionnelles aux émissions de friture en Occident.

▪ Conclusion

**Au regard de ces éléments, les experts proposent d'ajouter à l'arrêté français fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes l'intitulé suivant « travaux exposant aux émissions de friture avec des graisses animales ou végétales ».** Cet intitulé permet de prendre en compte l'ensemble des types de friture et ce indépendamment de la température de cuisson, variable selon la matière grasse utilisée.

Les experts relèvent que le manque de publications en dehors de l'Asie du Sud-Est, que ce soit pour l'évaluation de la cancérogénicité des émissions ou l'évaluation de l'exposition des travailleurs aux émissions de friture, souligne le peu d'attention que suscitent les expositions professionnelles aux émissions de friture en Occident, et ce malgré le nombre important de travailleurs potentiellement exposés aux émissions de friture. Selon l'INSEE (Institut national de la statistique et des études économiques), plus de 1 400 000 personnes étaient salariées fin 2021 dans les secteurs de la restauration ou des industries alimentaires en France.

**Recommandations**

Au regard des éléments présentés dans le rapport, les experts émettent des recommandations relatives à :

- la mise à jour de l'arrêté fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes ;
- la protection et la sensibilisation des professionnels potentiellement exposés aux émissions de friture ;
- la gestion des huiles de friture usagées ;
- l'amélioration des connaissances sur le risque cancérogène lié aux émissions de friture ainsi que celui lié aux procédés exposant à des HAP.

**Afin de mettre à jour l'arrêté fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes,** les experts recommandent d'ajouter à l'arrêté « les travaux exposant aux émissions de friture avec des graisses animales ou végétales ».

**Afin de protéger et de sensibiliser les professionnels potentiellement exposés aux émissions de friture, les experts recommandent :**

- d'informer le personnel exposé aux émissions de friture sur le risque cancérogène ;
- de mettre en place et d'entretenir un système de captage des émissions de friture adapté et efficace ;
- de vérifier régulièrement la qualité des huiles afin de les renouveler lorsque nécessaire et d'appliquer les bonnes pratiques visant à limiter l'enrichissement des huiles en HAP par dégradation (limitation de la température de chauffe, filtration après utilisation, etc.) pour minimiser les émissions de HAP lors de leur utilisation ;
- d'informer et de former les employeurs au risque cancérogène et à la prévention des risques liés aux émissions de friture avec des graisses animales ou végétales.

**Afin d'éviter la contamination de l'environnement ou des systèmes de traitement des eaux usées,** les experts recommandent aux pouvoirs publics de mettre en place un système

de collecte systématique des huiles de friture usagées quelles que soient les quantités produites.

**Afin d'améliorer les connaissances sur le risque cancérogène lié à l'exposition aux émissions de friture, les experts recommandent :**

- de mener des campagnes de mesure d'exposition aux composés émis lors de fritures représentatives des pratiques culinaires occidentales, et notamment aux HAP ;
- de prendre en compte les expositions aux émissions de friture dans la prochaine enquête SUMER (Surveillance médicale des expositions des salariés aux risques professionnels) ;
- de mener des études épidémiologiques afin de pouvoir mieux évaluer la cancérogénicité des émissions de fritures représentatives des pratiques culinaires occidentales.

**Afin d'améliorer les connaissances sur le risque cancérogène lié aux procédés ou travaux exposant aux HAP, les experts recommandent :**

- de mettre en place des dispositions réglementaires pour une caractérisation adaptée de la teneur en HAP des huiles usagées et régénérées (recyclées) et d'élaborer les règles de classification et d'étiquetage correspondantes ;
- d'évaluer la cancérogénicité des huiles minérales usagées (autres que celles « qui ont été auparavant utilisées dans des moteurs à combustion interne pour lubrifier et refroidir les pièces mobiles du moteur ») et des huiles minérales régénérées (recyclées).

#### **4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DE L'AGENCE**

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) a mené un cycle d'expertises en santé-travail relatif à l'identification de procédés cancérogènes à inscrire dans la réglementation française et/ou européenne pour la protection des travailleurs qui s'achève avec cette expertise relative aux travaux exposant aux émissions de friture à hautes températures. La finalité de ces travaux est le repérage, l'évaluation et la maîtrise des risques professionnels liés à la mise en œuvre de ces procédés afin de prévenir les effets mutagènes ou cancérogènes qui peuvent leur être associés.

Dans le cadre de l'identification de procédés ou travaux exposant aux HAP pertinents pour une inclusion à l'arrêté fixant la liste des substances, mélanges ou procédés cancérogènes, le présent avis porte plus précisément sur les travaux exposant aux émissions de friture avec des graisses animales ou végétales.

L'Anses endosse les conclusions et les recommandations du CES « Valeurs sanitaires de référence » et en particulier la préconisation d'ajouter les travaux exposant aux émissions de friture avec des graisses animales ou végétales à la liste des procédés cancérogènes fixée par un arrêté conjoint des ministres chargés du travail et de l'agriculture. Elle précise que cet intitulé concerne les émissions liées aux trois modes de friture que sont le sauté à la poêle (stir-frying), la friture à la poêle (pan frying) et la friture profonde (deep frying).

L'Anses relève le peu d'études publiées qui ont été réalisées en dehors de l'Asie du Sud-Est, que ce soit pour l'évaluation de la cancérogénicité des émissions ou l'évaluation de l'exposition des professionnels. Ceci lui paraît traduire un niveau d'attention insuffisant aux expositions professionnelles liées à la réalisation de friture en France voire en Europe, alors qu'un nombre important de travailleurs est potentiellement concerné avec, d'après l'INSEE, à fin 2021, plus de 1 400 000 personnes salariées dans les secteurs de la restauration ou de l'industrie agroalimentaire en France.

Afin de pouvoir disposer de données de nature à préciser, voire restreindre à plus long terme, le champ d'application de l'intitulé tel que recommandé actuellement au regard des données disponibles, l'Anses souligne également l'importance des recommandations destinées à la production de connaissances sur les dangers, les expositions et les risques liés aux travaux exposant aux émissions de friture prenant en compte les pratiques mises en œuvre en France ou plus largement en Europe.

S'agissant enfin de la recommandation relative à la protection de l'environnement par la collecte des huiles, l'agence rappelle qu'il existe d'ores et déjà, en application du Code de l'environnement (article R. 543-225), une obligation de valorisation sur place ou de tri aux producteurs ou détenteurs d'huiles alimentaires usagées en produisant plus de 60 litres par an (seuil applicable depuis 2016). Cette obligation, dont le principe remonte à 2011, a conduit des filières de collecte et de valorisation à se mettre en place. La recommandation vise donc à encourager tous les producteurs à une élimination appropriée et les pouvoirs publics à s'assurer que les filières la prennent en charge sans considération du seuil ci-dessus.

Pr Benoit Vallet

## MOTS-CLÉS

Travaux cancérogènes, procédés cancérogènes, classification, cancérogénicité, expositions professionnelles, directive 2004/37/CE, hydrocarbures aromatiques polycycliques, HAP, émissions de friture à hautes températures.

Carcinogenic tasks, carcinogenic work, carcinogenic processes, classification, carcinogenicity, occupational exposure, directive 2004/37/EC, polycyclic aromatic hydrocarbons, PAH, high-temperature frying emissions.

## CITATION SUGGÉRÉE

Anses. (2024). Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire, de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à l'identification de travaux ou procédés à inscrire à l'arrêté fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes - Expertise relative aux travaux ou procédés exposant aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) (saisine 2017-SA-0237). Maisons-Alfort : Anses, 12p.

**ANNEXE 1**

**Grille des pénalités attribuées aux différents niveaux pour l'application de la méthode de priorisation SIRIS**

Nombre de travailleurs potentiellement exposés	Classification cancérogène	Score
O = 0	o = 0	0
	m = 0,5	0,5
	d = 1	1
E = 1,5	o = 0	1,5
	m = 1	2,5
	d = 2	3,5
M = 3	o = 0	3
	m = 1,5	4,5
	d = 3	6
D = 4,5	o = 0	4,5
	m = 2	6,5
	d = 4	8,5
T = 6	o = 0	6
	m = 2,5	8,5
	d = 5	11

Niveaux : T : très pénalisant ; D et d : pénalisant ; M et m : moyennement pénalisant ; E : légèrement pénalisant ; O et o : non pénalisant

---

**Identification de procédés ou travaux à inscrire à l'arrêté  
fixant la liste des substances, mélanges et procédés  
cancérogènes**

**Expertise relative aux procédés ou travaux exposant aux hydrocarbures  
aromatiques polycycliques**

---

**Saisine n°2017-SA-0237 « Procédés cancérogènes »**

**RAPPORT  
d'expertise collective**

**« Comité d'experts spécialisés Valeurs Sanitaires de référence »**

**« Groupe de travail Procédés cancérogènes »**

**Février 2024**

## Citation suggérée

---

Anses. (2024). Identification de procédés ou travaux à inscrire à l'arrêté fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes. Expertise relative aux procédés ou travaux exposant aux hydrocarbures aromatiques polycycliques. (saisine n°2017-SA-0237). Maisons-Alfort : Anses, 128 p.

## Mots clés

---

Procédés cancérogènes, travaux cancérogènes, cancérogénicité, expositions professionnelles, hydrocarbures aromatiques polycycliques, HAP, émissions de friture à hautes températures.

Carcinogenic tasks, carcinogenic work, carcinogenicity, occupational exposure, polycyclic aromatic hydrocarbons, PAH, high-temperature frying emissions.



## Présentation des intervenants

**PRÉAMBULE** : Les experts membres de comités d'experts spécialisés, de groupes de travail ou désignés rapporteurs sont tous nommés à titre personnel, *intuitu personae*, et ne représentent pas leur organisme d'appartenance.

### GROUPE DE TRAVAIL

---

#### Président

Jean-François DORE – Directeur de recherche émérite à l'Institut national de la santé et de la recherche médicale à l'Inserm – Compétences : cancérologie, rayonnements UV

#### Membres

M. Marc BARIL – Professeur associé à l'Université de Montréal – Compétences : chimiste toxicologue, hygiène industrielle

Mme Patricia FAURE – Ingénieur en prévention des risques professionnels au service de santé au travail « prévention santé travail Ardèche Drome provençale » – Compétences : hygiène du travail, évaluation du risque chimique, connaissances ces procédés industriels

M. Robert GARNIER – Médecin toxicologue, Paris – Compétences : toxicologie médicale, santé au travail, santé environnementale

Mme Martine GOLIRO – Ingénieur conseil à la CARSAT Midi-Pyrénées – Compétences : substitution des CMR en milieu professionnel, évaluation des risques professionnels

M. Pascal GUENEL – Directeur de recherche à l'INSERM – Compétences : épidémiologie des cancers

M. Hubert MONNIER – Chercheur, responsable d'études à l'INRS – Compétences : procédés de traitement thermique de surface qui génèrent des HAP, génie des procédés

M. Raymond VINCENT – Retraité (anciennement chargé de mission à la Direction Déléguée aux Applications, INRS) – Compétences : chimie, métrologie des polluants, évaluation des risques professionnels

### COMITÉ D'EXPERTS SPÉCIALISÉ

---

Les travaux, objets du présent rapport ont été suivis et adoptés par le CES suivant :

- « Valeurs sanitaires de référence » (CES VSR) (2021-2023)

#### Président

M. Fabrice MICHIELS – Médecin du travail / toxicologue au Service de prévention et santé au travail de Corrèze et de Dordogne (SPST 19-24) – Compétences : Médecine du travail, toxicologie

#### Vice-président

M. Jérôme THIREAU – PhD, Chargé de recherche au CNRS - Compétences : Physiologie animale, électrophysiologie, biologie cellulaire, cardiotoxicité

## Membres

M. Benoît ATGE – Médecin du Travail, Médecin Toxicologue, AHI33. – Compétences : Toxicologie, Médecine, Santé au Travail, biosurveillance, agents cytotoxiques, évaluation des expositions, contaminations surfaciques

M. Luc BELZUNCES – Directeur de Recherche et Directeur du Laboratoire de Toxicologie Environnementale à l'INRAE – Compétences : Toxicologie générale, Neurotoxicologie, Écotoxicologie, chimie analytique, évaluation des risques

Mme Michèle BISSON – Toxicologue Responsable d'étude à l'INERIS – Compétences : Pharmacien toxicologue, VTR, évaluation des risques sanitaires

Mme Anne CHEVALIER – Retraitée de l'Institut de Veille Sanitaire - Compétences : épidémiologie

Mme Fatiha EL-GHISSASSI – Retraitée anciennement scientifique, Programme des Monographies. Evidence Synthesis and Classification Branch. Centre International de Recherche sur le Cancer - Compétences : biochimie spécialiste en cancérogénèse et génotoxicité

M. Claude EMOND – Professeur associé - École de santé publique, Université de Montréal - Département de santé environnementale et santé au travail. – Compétences : Toxicologie, modèle PBPK, toxicocinétique, nanotoxicologie, perturbateurs endocriniens

M. Robert GARNIER – Médecin toxicologue, Paris - Compétences : Toxicologie médicale, santé au travail, santé environnementale

M. Kevin HOGEVEEN – Toxicologue, Anses – Fougères, Toxicologie des Contaminants – Compétences : Toxicologie, génotoxicité, hépatotoxicité, toxicologie *in vitro*

Mme Yuriko IWATSUBO – Médecin épidémiologiste à Santé publique France – Compétences : épidémiologie des risques professionnels

Mme Magalie LABADIE – Praticien hospitalier, Chef de Service, CHU de Bordeaux, Hôpital Pellegrin, Centre hospitalier universitaire, Centre Antipoison de Nouvelle Aquitaine – Compétences : Toxicologie, médecine, toxicologie environnementale, toxines

M. Jérôme LANGRAND – Praticien hospitalier, Chef de Service du centre antipoison de Paris, AP-HP Hôpital Fernand-Widal, Centre antipoison de Paris – Compétences : Toxicologie, médecine, toxicologie professionnelle, pathologies environnementales et professionnelles, toxines

Mme Gladys MIREY – Directrice de recherche en toxicologie, Responsable de l'équipe Génotoxicité & Signalisation, INRAE UMR TOXALIM – Compétences : Toxicologie cellulaire, génotoxicité, mécanismes d'action, contaminants, modèles d'étude / méthodes alternatives, effets des mélanges

M. Luc MULTIGNER – Directeur de recherche, INSERM U1085 - IRSET – Compétences : Épidémiologie, Perturbateurs Endocriniens, Pathologies des fonctions et des organes de la reproduction

Mme Nadia NIKOLOVA-PAVAGEAU – Conseiller médical à l'INRS – Compétences : Médecine du travail, toxicologie médicale, IBE

M. Benoît OURY – Retraité, anciennement responsable d'études à l'INRS, département métrologie des polluants – Compétences : Métrologie atmosphérique, Air des lieux de travail, évaluation expositions professionnelles

M. Henri SCHROEDER – Maître de Conférence à la Faculté des Sciences et Technologies de l'Université de Lorraine – Département Neurosciences et Biologie Animale et unité INSERM U1256 Nutrition, Génétique et Exposition aux Risques environnementaux – Pharmacien neurobiologiste – Compétences : Neurotoxicité, polluants Environnementaux, comportement animal, développement cérébral, exposition périnatale

M. Olivier SORG – Chef de groupe de recherche à l'Université de Genève – Compétences : Docteur es science en biochimie, toxicologie expérimentale, dermatotoxicologie

M. Antoine VILLA – Praticien hospitalier, médecin du travail, Hôpital de la Timone, Marseille – Compétences : Pathologies professionnelles, toxicologie, médecine, expologie - biosurveillance, fibres d'amiante, agents cytotoxiques

Mme Maeva WENDREMAIRE – Maître de conférences à l'Université de Bourgogne – Compétences : Toxicologie, reprotoxicité, pharmacologie, toxicologie analytique

---

## **PARTICIPATION ANSES**

---

### **Coordination scientifique**

Mme Hasnaa CHETTOU – Coordinatrice d'expertises scientifiques – Anses (départ de l'Anses le 30 juin 2023)

Mme Valentine GUINET – Coordinatrice d'expertises scientifiques – Anses

### **Contribution scientifique**

Mme Dominique BRUNET – Cheffe de de l'Unité Evaluation des Valeurs de Référence et des Risques liés aux Substances Chimiques – Anses

Mme Sandrine CHARLES – Coordinatrice d'expertises scientifiques – Anses

Mme Hasnaa CHETTOU – Coordinatrice d'expertises scientifiques – Anses (départ de l'Anses le 30 juin 2023)

Mme Valentine GUINET – Coordinatrice d'expertises scientifiques – Anses

### **Secrétariat administratif**

Mme Patricia RAHYR – Anses

Mme Agnès BRION – Anses

## SOMMAIRE

<b>Présentation des intervenants</b> .....	<b>3</b>
<b>Sigles et abréviations</b> .....	<b>8</b>
<b>Liste des tableaux</b> .....	<b>11</b>
<b>Liste des figures</b> .....	<b>13</b>
<b>1 Contexte, objet et modalités de réalisation de l'expertise</b> .....	<b>14</b>
1.1 Contexte .....	14
1.2 Objet de la saisine .....	14
1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation.....	16
1.3.1 Moyens mis en œuvre et organisation .....	16
1.3.2 Autres moyens mis en œuvre et organisation .....	16
1.4 Champ d'expertise de l'étude.....	17
1.5 Prévention des risques de conflits d'intérêts .....	17
<b>2 Procédés ou travaux exposant aux hydrocarbures aromatiques polycycliques</b> <b>18</b>	
2.1 Généralités sur les hydrocarbures aromatiques polycycliques.....	18
2.1.1 Chimie et physico-chimie des HAP .....	18
2.1.2 Evaluation de la toxicité des HAP .....	18
2.1.3 Surveillance des expositions aux mélanges d'HAP.....	26
2.1.3.1 Surveillance des différents environnements.....	26
2.1.3.2 Surveillance biologique des expositions professionnelles .....	29
2.2 Expositions aux hydrocarbures aromatiques polycycliques.....	31
2.2.1 Mono expositions à un HAP spécifique.....	31
2.2.2 Expositions à des mélanges de HAP .....	32
2.2.2.1 Les sources naturelles.....	32
2.2.2.2 Les sources anthropiques.....	32
2.3 Focus sur les procédés ou travaux exposant aux HAP classés par les organismes de référence.....	33
2.3.1 Identification des procédés ou travaux exposant aux HAP dont la cancérogénicité est à expertiser .....	36
2.3.2 Priorisation des procédés et travaux exposant aux HAP retenus.....	43
2.3.2.1 Description de la méthode de hiérarchisation SIRIS .....	43
2.3.2.2 Application de la méthode de priorisation SIRIS .....	44
2.3.3 Documentation des critères « nombre de travailleurs potentiellement exposés » et « classification cancérogène ».....	46
2.3.3.1 Documentation du critère « nombre de travailleurs potentiellement exposés »	46
2.3.3.2 Documentation du critère « classification cancérogène » .....	51

2.3.4	Résultats de la hiérarchisation .....	53
<b>3</b>	<b>Procédé retenu dans le cadre de cette expertise .....</b>	<b>54</b>
3.1	Travaux exposant aux émissions de friture à hautes températures.....	54
3.1.1	Description et définition du périmètre du procédé .....	54
3.1.2	Réactions chimiques pendant la friture .....	57
3.2	Données d'exposition .....	59
3.2.1	Nature des expositions .....	59
3.2.1.1	Caractérisation des différents composés émis lors de friture à hautes températures .....	59
3.2.1.2	Effets des différents paramètres influençant la composition des émissions de friture à hautes températures .....	61
3.2.2	Données d'exposition du CIRC .....	65
3.2.3	Données bibliographiques publiées après la monographie du CIRC.....	69
3.2.4	Données françaises .....	79
3.2.4.1	Base de données COLCHIC.....	79
3.2.4.2	Typologie des populations exposées .....	79
3.2.5	Synthèse des données d'exposition.....	80
3.3	Evaluation du caractère cancérigène.....	81
3.3.1	Rappel des données de cancérigénicité ayant conduit à la classification du CIRC (IARC 2010a) .....	81
3.3.1.1	Données chez l'Homme, dans l'expertise du CIRC.....	81
3.3.1.2	Données expérimentales et mécanistiques.....	83
3.3.1.3	Conclusion.....	83
3.3.2	Actualisation des données de cancérigénicité .....	84
3.3.2.1	Méthodologie .....	84
3.3.2.2	Analyse des données .....	85
3.3.2.3	Synthèse des résultats .....	101
<b>4</b>	<b>Conclusions .....</b>	<b>104</b>
<b>5</b>	<b>Recommandations.....</b>	<b>109</b>
<b>6</b>	<b>Bibliographie.....</b>	<b>111</b>
	<b>Annexe 1 : Lettre de saisine .....</b>	<b>122</b>
	<b>Annexe 2 : Proposition de l'INERIS de facteurs d'équivalence toxique pour les différents HAP (Doornaert et Pichard 2005) .....</b>	<b>125</b>
	<b>Annexe 3 : Etablissement des scores selon la méthode de priorisation SIRIS .....</b>	<b>126</b>
	<b>Annexe 4 : Extraction des huiles de schiste en France.....</b>	<b>127</b>
	<b>Annexe 5 : Suivi des actualisations du rapport .....</b>	<b>128</b>

## Sigles et abréviations

1-OHP	: 1-hydroxypyrrène
3-OHBaP	: 3-hydroxybenzo[a]pyrrène
8-oxo-dG	: 8-oxo-7,8-dihydro-2'-désoxyguanosine
AAH	: Amines aromatiques polycycliques
ACGIH®	: Conférence américaine des hygiénistes industriels gouvernementaux (american conference of governmental industrial hygienists)
ADEME	: Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
Anses	: Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
AST	: Appui scientifique et technique
ATSDR	: Agency for toxic substances and disease registry
BEI	: Indice biologique d'exposition (biological exposure indice)
Carsat	: Caisse d'assurance retraite et de la santé au travail
CAS	: Numéro CAS (numéro du Chemical Abstract Service) d'une substance chimique : c'est le numéro d'enregistrement de cette substance auprès de la banque de données du Chemical Abstract Service, qui est une division de l'American Chemical Society. Un numéro unique et spécifique est ainsi assigné à chaque substance qui a été décrite dans la littérature.
CE	: Commission européenne
CES	: Comité d'experts spécialisé
CGSS	: Caisses générales de sécurité sociale
CGSS	: Caisse générale de sécurité sociale
CIRC (ou IARC)	: Centre international de recherche sur le cancer (ou IARC pour international agency of research on cancer)
Citepa	: Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique
CLP	: Classification, étiquetage, emballage (classification, labelling, packaging)
CMR	: Cancérogènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction
CNAM	: Caisse nationale d'assurance maladie
COLCHIC	: Collecte des données chimiques des caisses d'assurances retraite et de la santé au travail
COV	: Composés organiques volatils
COVT	: Composés organiques volatiles totaux
CPT	: Composés polaires totaux
Cramif	: Caisse régionale d'assurance maladie d'Ile-de-France

CSP	: Code de la santé publique
DAD	: Détecteur ultraviolet à diodes
DECOS	: Comité d'experts néerlandais sur la sécurité au travail (dutch expert committee on occupational safety)
DFG	: Fondation allemande pour la recherche (deutsche forschungsgemeinschaft)
DGS	: Direction générale de la santé
DGT	: Direction générale du travail
DS (SD)	: Déviation standard (standard deviation)
ECHA	: Agence européenne des produits chimiques (european chemicals agency)
EVCI (DALY)	: Espérance de vie corrigée de l'incapacité (disability adjusted life years)
FAR	: Fiche d'aide au repérage
FAS	: Fiche d'aide à la substitution
FET	: Facteur d'équivalence toxique (toxic equivalent factor)
FLD	: Détecteur à fluorescence
FLORES	: Fichier localisé des rémunérations et de l'emploi salarié
GC	: Chromatographie gazeuse
GMS	: Grandes et moyennes surfaces
GT	: Groupe de travail
HAP	: Hydrocarbures aromatiques polycycliques
HAU	: Huiles alimentaires usagées
HGSIL	: Lésions malpighiennes intra-épithéliales de haut grade (high-grade squamous intraepithelial lesions)
HPLC	: Chromatographie liquide à haute performance
HPV	: Virus du papillome humain (human papilloma virus)
IAA	: Industries agroalimentaires
IBE	: Indicateur biologique d'exposition
IC	: Intervalle de confiance
IFPEN	: Institut français du pétrole Energies nouvelles
INRS	: Institut national de recherche et de sécurité
INSEE	: Institut national de la statistique et des études économiques
IRR	: Ratio du taux d'incidence (incidence rate ratio)

---

LGSIL	: Lésions malpighiennes intra-épithéliales de bas grade (low-grade squamous intraepithelial lesions)
MES	: Matières en suspension
MS	: Spectrométrie de masse
NAF	: Nomenclature d'activités française
NQE-CMA	: Norme de qualité environnementale – concentration maximale admissible
NQE-MA	: Norme de qualité environnementale – moyenne annuelle
NTP	: Programme national de toxicologie américain (national toxicology program )
OR	: Odds ratio (rapport des cotes)
PM	: Matière particulaire (ou particules en suspension) (particular matter)
RoC	: Rapport sur les agents cancérigènes (report on carcinogens)
SIRIS	: Système d'intégration des risques par interaction des scores
SUMER	: Surveillance médicale des expositions des salariés aux risques professionnels
TEQ	: Equivalents toxiques (toxic equivalent)
US EPA	: Agence américaine de protection de l'environnement (united state environmental protection agency)
VBI	: Valeur biologique d'interprétation
VCI	: Valeur de constat d'impact



## Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification des HAP selon leur potentiel cancérogène par le CIRC, le règlement CLP, le NTP et le DECOS .....	19
Tableau 2 : Calculs d'excès de risque de cancer pulmonaire pour une exposition professionnelle à différentes concentrations de benzo[a]pyrène (ECHA 2022).....	27
Tableau 3 : Valeurs de constat d'impact (VCI) pour certains HAP (Mossman et Koch-Mathian 2001).....	28
Tableau 4 : Normes de qualité environnementale des différents HAP pour les eaux de surface .....	29
Tableau 5 : Corrélation entre la concentration atmosphérique en benzo[a]pyrène et la concentration urinaire en 3-hydroxybenzo[a]pyrène (après hydrolyse) chez des travailleurs exposés (Deutsche Forschungsgemeinschaft 2021) .....	30
Tableau 6 : Liste des procédés ou travaux exposant aux HAP classés par le CIRC, le DECOS et le NTP.....	34
Tableau 7 : Classifications retenues ou non retenues par les experts pour évaluer la cancérogénicité des procédés ou des travaux.....	37
Tableau 8 : Procédés ou travaux exposant aux HAP classés 1 ou 2A par le CIRC, 1A ou 1B par le DECOS ou « cancérogène connu pour l'Homme » par le NTP non retenus dans cette expertise .....	38
Tableau 9 : Travaux exposant aux HAP retenus par le groupe d'experts.....	43
Tableau 10 : Présentation de la grille des niveaux attribués aux deux critères retenus pour l'application de la méthode de priorisation SIRIS.....	45
Tableau 11 : Grille des pénalités attribuées aux différents niveaux pour l'application de la méthode de priorisation SIRIS.....	46
Tableau 12 : Echanges mensuels de schistes et sables bitumineux en France entre novembre 2021 et novembre 2022.....	47
Tableau 13 : Classification des différentes huiles minérales raffinées selon le CIRC (IARC 1984).....	48
Tableau 14 : Résultats de la hiérarchisation des 4 procédés exposant aux HAP retenus par le groupe d'experts après application de la méthode SIRIS .....	53
Tableau 15 : Synthèse des résultats des études rapportées par le CIRC dans la monographie 95 mentionnant les effets des différents paramètres pouvant influencer la composition des émissions de friture (IARC 2010a).....	62
Tableau 16 : Liste des études rapportées dans la monographie 95 du CIRC mentionnant des mesures d'HAP (IARC 2010a).....	66
Tableau 17 : Nouveaux articles jugés d'intérêt pour l'évaluation des expositions aux HAP lors de travaux exposant aux émissions de friture à hautes températures.....	70
Tableau 18 : Principaux résultats des études cas-témoins publiées après la monographie du CIRC de 2010 .....	91
Tableau 19 : Principaux résultats des études de cohorte publiées après la monographie du CIRC de 2010 .....	98
Tableau 20 : Synthèse des résultats par type de cancer .....	103

Tableau 21 : Ressources en gaz et huiles de schiste en France (en 2013) (Energy information administration 2015)..... 127

## Liste des figures

Figure 1 : Procédé de friture.....	55
Figure 2 : Organisation de la filière de production et de valorisation des HAU en France métropolitaine en 2014 (FranceAgriMer et ADEME 2015).....	56
Figure 3 : Représentation schématique de plusieurs interactions chimiques entre l'aliment et la matière grasse (Zeb 2019).....	58

# 1 Contexte, objet et modalités de réalisation de l'expertise

## 1.1 Contexte

Le Code du travail définit, dans son article R4412-60, les agents chimiques cancérogènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction (CMR) comme étant :

- toute substance ou mélange répondant aux critères de classification dans la catégorie 1A ou 1B des substances ou mélanges CMR définis à l'annexe I du règlement (CE) n° 1272/2008 relatif à la classification, l'étiquetage et l'emballage des substances et des mélanges (CLP) ;
- toute substance, tout mélange ou tout procédé inscrit dans **un arrêté conjoint des ministres chargés du travail et de l'agriculture fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes**.

Actuellement, la liste figurant dans cet arrêté<sup>1</sup> est essentiellement issue de la transposition de directives européennes (à l'exception du formaldéhyde pour lequel la décision a été prise au niveau national) et comporte les procédés suivants :

- fabrication d'auramine ;
- travaux exposant aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) présents dans la suie, le goudron, la poix, la fumée ou les poussières de la houille ;
- travaux exposant aux poussières, fumées ou brouillards produits lors du grillage et de l'électroraffinage des mattes de nickel ;
- procédé à l'acide fort dans la fabrication d'alcool isopropylique ;
- travaux exposant aux poussières de bois inhalables ;
- travaux exposant au formaldéhyde ;
- travaux exposant à la poussière de silice cristalline alvéolaire issue de procédés de travail ;
- travaux entraînant une exposition cutanée à des huiles minérales qui ont été auparavant utilisées dans des moteurs à combustion interne pour lubrifier et refroidir les pièces mobiles du moteur ;
- travaux exposant aux émissions d'échappement de moteurs Diesel.

De ce classement découle l'application par les employeurs des dispositions réglementaires particulières applicables aux agents chimiques CMR, impliquant notamment une obligation de substitution dès que cela est techniquement possible.

## 1.2 Objet de la saisine

En novembre 2017, compte-tenu de l'actualité réglementaire européenne concernant la révision de la directive 2004/37/CE relative à la protection des travailleurs contre les risques liés aux cancérogènes ou mutagènes, la Direction générale du travail (DGT) a saisi l'Anses

---

<sup>1</sup> Il s'agit de l'arrêté du 26 octobre 2020 fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes au sens du code du travail et abrogeant l'arrêté du 5 janvier 1993.

afin d'apporter un avis sur les nouveaux procédés cancérogènes pouvant relever de cet arrêté. La saisine de la DGT se décline en deux temps.

**Dans un premier temps**, l'Anses a été saisie, via un appui scientifique et technique, afin de déterminer si quatre procédés identifiés par la DGT, pour lesquels il y a une forte suspicion du caractère cancérogène (sans qu'il existe de cadre réglementaire clair pour le définir), conjugué à une forte occurrence en milieu professionnel, peuvent relever de cet arrêté.

Les quatre procédés identifiés par la DGT étaient :

- les travaux exposant aux fumées de soudage ;
- les travaux exposant à la silice cristalline ;
- les travaux exposant aux hydrocarbures aromatiques polycycliques ;
- les travaux exposant aux cytostatiques.

Il a également été demandé à l'Anses d'indiquer, le cas échéant, s'il existe des données de nature à mieux préciser et/ou à restreindre le champ de ces quatre procédés pour le premier trimestre 2018.

Les travaux menés sur ces quatre procédés ont fait l'objet d'une note d'appui scientifique et technique (AST) publiée le 20 avril 2018 (Anses 2018), qui indiquait, faute de pouvoir conclure dans les délais impartis, la nécessité d'approfondir ceux exposant aux fumées de soudage, aux HAP et aux cytostatiques. Les travaux exposant à la poussière de silice cristalline alvéolaire issue de procédés de travail ont été classés comme procédés cancérogènes par l'arrêté du 26 octobre 2020 transposant la directive (UE) 2017/2398.

L'Anses a ensuite publié ses conclusions en mars 2021 pour les travaux exposant aux cytotoxiques (Anses 2021) et en février 2022 pour les travaux exposant aux fumées de soudage (Anses 2022).

**Dans un second temps**, il a été également demandé à l'Anses :

- de proposer une méthode permettant de conclure à la classification d'un procédé cancérogène et de définir des critères de classification pour justifier de l'inclusion d'un procédé à l'arrêté. Ce travail a donné lieu en juillet 2023 à la publication d'un guide méthodologique (Anses 2023) ;
- d'identifier sur la base de cette démarche et des informations jugées pertinentes, de nouveaux procédés cancérogènes pouvant relever de cet arrêté ou d'une réglementation européenne ;
- de proposer une démarche en vue de prioriser les procédés pouvant justifier d'un intérêt en vue d'une classification.

Une liste hiérarchisée de procédés à expertiser pour une éventuelle inclusion dans l'arrêté français fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes a ainsi été établie par l'Anses (Anses 2024).

Dans sa note d'AST, l'Anses avait conclu qu'une investigation plus approfondie était nécessaire afin de pouvoir se prononcer sur une précision ou une restriction du champ de l'entrée proposée « travaux exposant aux hydrocarbures aromatiques polycycliques » dans l'arrêté.

En effet, il existe un très grand nombre de substances faisant partie de la famille des HAP et qui entrent en proportions variables dans divers mélanges naturellement présents dans l'environnement, générés par certains procédés industriels ou produits commercialement.

Toutes et tous n'ont pas été étudiés de façon systématique, mais celles et ceux ayant fait l'objet d'une évaluation sont diversement classés pour leur cancérogénicité par les différents organismes évaluant la cancérogénicité.

Les travaux d'expertise décrits dans le présent rapport consistent à évaluer le caractère cancérogène intrinsèque de procédés ou de travaux exposant aux HAP, afin de pouvoir justifier leur éventuelle inclusion à l'arrêté fixant la liste des substances, mélanges ou procédés cancérogènes.

## 1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation

### 1.3.1 Moyens mis en œuvre et organisation

L'Anses a mis en place le groupe de travail (GT) « Procédés cancérogènes » le 29 mars 2019. L'Anses a confié au GT « Procédés cancérogènes », rattaché au comité d'experts spécialisé (CES) « Valeurs sanitaires de référence » l'instruction de cette saisine.

Les travaux d'expertise du groupe de travail relatifs aux travaux exposant aux hydrocarbures aromatiques polycycliques en vue d'une éventuelle inclusion dans l'arrêté français fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes, objet du présent rapport, ont été soumis régulièrement au CES (tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques). Le rapport produit par le groupe de travail tient compte des observations et éléments complémentaires transmis par les membres du CES.

Ces travaux sont ainsi issus d'un collectif d'experts aux compétences complémentaires.

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – prescriptions générales de compétence pour une expertise (mai 2003) ».

### 1.3.2 Autres moyens mis en œuvre et organisation

#### Extraction de la base de données COLCHIC

La base de données COLCHIC a été mise en place en 1987 par l'INRS. Elle collecte les données sur les expositions professionnelles aux agents chimiques (mesures d'exposition individuelle ou d'ambiance) en France effectuées par les laboratoires des caisses d'assurance retraite et sécurité au travail (Carsat) et de l'INRS. Elle contient des informations sur les conditions de réalisation des prélèvements (technique de prélèvement, volume, durée, méthode, etc.), des données sur l'entreprise (secteur d'activité économique, localisation, etc.), des informations sur les travailleurs (fréquence d'exposition, profession, type de tâches effectuées, etc.) et des indications sur l'environnement de travail (protection collective et équipement de protection individuelle mis en œuvre).

La base de données COLCHIC de l'INRS a été interrogée pour extraire les niveaux d'expositions professionnelles aux 16 HAP<sup>2</sup>, classés prioritaires par l'US EPA, sur la période 1987-2021.

---

<sup>2</sup> Acénaphène, acénaphylène, anthracène, benzo[a]anthracène, benzo[a]pyrène, benzo[b]fluoranthène, benzo[g,h,i]pérylène, benzo[k]fluoranthène, chrysène, dibenzo[a,h]anthracène, fluoranthène, fluorène, indéno[1,2,3-cd]pyrène, naphthalène, phénanthrène et pyrène.

## 1.4 Champ d'expertise de l'étude

Ces travaux, qui relèvent de la saisine 2017-SA-0237, visent à déterminer la pertinence de recommander l'inclusion des travaux exposant aux HAP à la liste des substances, mélanges ou procédés cancérigènes figurant dans l'arrêté conjoint des ministres chargés du travail et de l'agriculture fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérigènes.

## 1.5 Prévention des risques de conflits d'intérêts

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts avant leur nomination et tout au long des travaux, afin d'éviter les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre de l'expertise.

Les déclarations d'intérêts des experts sont publiées sur le site internet <https://dpi.sante.gouv.fr/>.

## 2 Procédés ou travaux exposant aux hydrocarbures aromatiques polycycliques

Dans le cadre de cette expertise, les experts se sont focalisés sur les procédés ou travaux exposant aux HAP en tant que mélanges de substances mis en œuvre ou émis par le procédé expertisé qui pourrait varier de composition en fonction du procédé.

### 2.1 Généralités sur les hydrocarbures aromatiques polycycliques

#### 2.1.1 Chimie et physico-chimie des HAP

Les HAP constituent une grande classe de composés organiques constitués d'au moins deux cycles aromatiques accolés. Ils peuvent être classés selon le nombre de cycles aromatiques les constituant : les HAP légers (de 2 à 3 cycles) et les HAP lourds (4 cycles et plus). La différence structurale entre les HAP légers et les HAP lourds va impacter les caractéristiques physico-chimiques des molécules, comme leur volatilité, leur stabilité et leur solubilité. Les HAP de faibles poids moléculaires, plus volatils, sont présents préférentiellement dans la phase gazeuse des aérosols, tandis que les HAP de poids moléculaires élevés, moins volatils, sont plutôt présents dans la phase particulaire (B.-K. Lee 2010). L'ajout de cycles aromatiques va augmenter la stabilité de la molécule et diminuer son hydrosolubilité (Sahoo et al. 2020; Ewa et Danuta 2017). La capacité des HAP lourds à persister dans l'organisme favorise l'apparition d'effets toxiques dans l'organisme (Sahoo et al. 2020; ECHA 2022).

#### 2.1.2 Evaluation de la toxicité des HAP

L'évaluation de la toxicité induite par une exposition aux HAP s'avère délicate du fait de la présence des HAP sous forme de mélanges plus ou moins complexes, de la différence de composition des mélanges d'HAP et d'un manque de données disponibles concernant les effets des HAP. Les données concernant les effets induits par des mélanges d'HAP chez l'Homme sont rares et les données expérimentales disponibles étudient généralement l'effet d'un seul HAP (Doornaert et Pichard 2005). Les études de toxicité d'HAP spécifiques ou de mélanges d'HAP portent surtout sur la cancérogénicité liée à une exposition chronique. Les données de cancérogénicité relatives à certains HAP ont permis leur classement par différents organismes. Le tableau 1 regroupe les classifications de cancérogénicité des HAP par le centre international de recherche sur le cancer (CIRC), le règlement relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges (règlement CLP), le programme national de toxicologie (NTP) des Etats-Unis et le comité d'experts néerlandais sur la sécurité au travail (DECOS<sup>3</sup>).

---

<sup>3</sup> Dutch Expert Committee on Occupational Safety



Tableau 1 : Classification des HAP selon leur potentiel cancérigène par le CIRC, le règlement CLP, le NTP et le DECOS

Nom de la substance	Numéro CAS	Classification comme cancérigène	Référence*
Benzo[a]pyrène	50-32-8	Groupe 1 (CIRC)	Vol.100F (IARC 2012)
		Catégorie 1B (CLP)	Règlement européen n°1272/2008 CE; CLP00 (16 décembre 2008)
		« Agent raisonnablement considéré comme cancérigène pour l'Homme » (NTP)	RoC (NTP 1981)
Dibenzo[a,h]anthracène	53-70-3	Groupe 2A (CIRC)	Vol.92 (IARC 2010b)
		Catégorie 1B (CLP)	Règlement européen n°1272/2008 CE ; CLP00/ATP01 (10 août 2009)
		« Agent raisonnablement considéré comme cancérigène pour l'Homme » (NTP)	RoC (NTP 1981)
Dibenzo[a,l]pyrène	191-30-0	Groupe 2A (CIRC)	Vol.92 (IARC 2010b)
		Catégorie 1B (CLP)	Règlement européen n°1272/2008 CE; CLP00/ATP15 (1 <sup>er</sup> mars 2022)
		Catégorie 2 (DECOS)	DECOS 1995
Cyclopenta[c,d]pyrène	27208-37-3	Groupe 2A (CIRC)	Vol.92 (IARC 2010b)
Benzo[a]anthracène	56-55-3	Groupe 2B (CIRC)	Vol.92 (IARC 2010b)
		Catégorie 1B (CLP)	Règlement européen n°1272/2008 CE ; CLP00/ATP01 (10 août 2009)

		« Agent raisonnablement considéré comme cancérigène pour l'Homme » (NTP)	RoC (NTP 1981)
Chrysène	218-01-9	Groupe 2B (CIRC)	Vol.92 (IARC 2010b)
		Catégorie 1B (CLP)	Règlement européen n°1272/2008 CE ; CLP00 (16 décembre 2008)
Benzo[k]fluoranthène	207-08-9	Groupe 2B (CIRC)	Vol.92 (IARC 2010b)
		Catégorie 1B (CLP)	Règlement européen n°1272/2008 CE ; CLP00 (16 décembre 2008)
		« Agent raisonnablement considéré comme cancérigène pour l'Homme » (NTP)	RoC (NTP 1989)
Benzo[b]fluoranthène	205-99-2	Groupe 2B (CIRC)	Vol.92 (IARC 2010b)
		Catégorie 1B (CLP)	Règlement européen n°1272/2008 CE ; CLP00 (16 décembre 2008)
		« Agent raisonnablement considéré comme cancérigène pour l'Homme » (NTP)	RoC (NTP 1981)
Benzo[j]fluoranthène	205-82-3	Groupe 2B (CIRC)	Vol.92 (IARC 2010b)
		Catégorie 1B (CLP)	Règlement européen n°1272/2008 CE ; CLP00 (16 décembre 2008)
		« Agent raisonnablement considéré comme cancérigène pour l'Homme » (NTP)	RoC (NTP 1981)

Dibenzo[a,h]pyrène	189-64-0	Groupe 2B (CIRC)	Vol.92 (IARC 2010b)
		Catégorie 1B (CLP)	Règlement européen n°1272/2008 CE ; CLP00/ATP14 (9 septembre 2021)
		« Agent raisonnablement considéré comme cancérigène pour l'Homme » (NTP)	RoC (NTP 1981)
		Catégorie 1B (DECOS)	DECOS 1995
Dibenzo[a,i]pyrène	189-55-9	Groupe 2B (CIRC)	Vol.92 (IARC 2010b)
		Catégorie 1B (CLP)	Règlement européen n°1272/2008 CE ; CLP00/ATP14 (9 septembre 2021)
		« Agent raisonnablement considéré comme cancérigène pour l'Homme » (NTP)	RoC (NTP 1981)
		Catégorie 1B (DECOS)	DECOS 1995
Indéno[1,2,3-cd]pyrène	193-39-5	Groupe 2B (CIRC)	Vol.92 (IARC 2010b)
		« Agent raisonnablement considéré comme cancérigène pour l'Homme » (NTP)	RoC (NTP 1981)
		Catégorie 1B (DECOS)	DECOS 1995
Naphthalène	91-20-3	Groupe 2B (CIRC)	Vol.82 (IARC 2002)
		Catégorie 2 (CLP)	Règlement européen n°1272/2008 CE ; CLP00 (16 décembre 2008)

		Catégorie 2 (DECOS)	Rapport du DECOS "Naphthalene ; evaluation of the carcinogenicity and genotoxicity" de 2012 (Health Council of the Netherlands 2012)
Benzo[e]pyrène	192-97-2	Groupe 3 (CIRC)	Vol.92 (IARC 2010b)
		Catégorie 1B (CLP)	Règlement européen n°1272/2008 CE ; CLP00 (16 décembre 2008)
Benzo[g,h,i]perylène	191-24-2	Groupe 3 (CIRC)	Vol.92 (IARC 2010b)
Fluoranthène	206-44-0	Groupe 3 (CIRC)	Vol.92 (IARC 2010b)
Pyrène	129-00-0	Groupe 3 (CIRC)	Vol.92 (IARC 2010b)
Anthracène	120-12-7	Groupe 2B (CIRC)	Volume en préparation
Phenanthrène	85-01-8	Groupe 3 (CIRC)	Vol.92 (IARC 2010b)
Fluorène	86-73-7	Groupe 3 (CIRC)	Vol.92 (IARC 2010b)
Acénaphène	83-32-9	Groupe 3 (CIRC)	Vol.92 (IARC 2010b)
Benzo[g,h,i]fluoranthène	203-12-3	Groupe 3 (CIRC)	Vol.92 (IARC 2010b)
Benzo[a]fluorène	238-84-6	Groupe 3 (CIRC)	Vol.92 (IARC 2010b)
Benzo[b]fluorène	243-17-4	Groupe 3 (CIRC)	Vol.92 (IARC 2010b)
Benzo[c]phenanthrène	195-19-7	Groupe 2B (CIRC)	Vol.92 (IARC 2010b)

Coronène	191-07-1	Groupe 3 (CIRC)	Vol.92 (IARC 2010b)
Dibenz[a,j]anthracène	224-41-9	Groupe 3 (CIRC)	Vol.92 (IARC 2010b)
Dibenzo [a,e] pyrène	192-65-4	Groupe 3 (CIRC)	Vol.92 (IARC 2010b)
		« Agent raisonnablement considéré comme cancérogène pour l'Homme » (NTP)	RoC (NTP 1989)
		Catégorie 2 (DECOS)	DECOS 1995
Dibenzo [e,l] pyrène	192-51-8	Groupe 3 (CIRC)	Vol.92 (IARC 2010b)
Dibenzo [a,e] fluoranthène	5385-75-1	Groupe 3 (CIRC)	Vol.92 (IARC 2010b)
1-Methylchrysène	3351-28-8	Groupe 3 (CIRC)	Vol.92 (IARC 2010b)
2-Methylchrysène	3351-32-4	Groupe 3 (CIRC)	Vol.92 (IARC 2010b)
3-Methylchrysène	3351-31-3	Groupe 3 (CIRC)	Vol.92 (IARC 2010b)
4-Methylchrysène	3351-30-2	Groupe 3 (CIRC)	Vol.92 (IARC 2010b)
5-Methylchrysène	3697-24-3	Groupe 2B (CIRC)	Vol.92 (IARC 2010b)
		« Agent raisonnablement considéré comme cancérogène pour l'Homme » (NTP)	RoC (NTP 1989)
		Catégorie 1B (DECOS)	DECOS 1995
6-Methylchrysène	1705-85-7	Groupe 3 (CIRC)	Vol.92 (IARC 2010b)

3-Méthylfluoranthène	1706-01-0	Groupe 3 (CIRC)	Vol.92 (IARC 2010b)
2-Méthylfluoranthène	33543-31-6	Groupe 3 (CIRC)	Vol.92 (IARC 2010b)
1-Méthylphenanthrene	832-69-9	Groupe 3 (CIRC)	Vol.92 (IARC 2010b)
1,4-Diméthylphenanthrene	22349-59-3	Groupe 3 (CIRC)	Vol.92 (IARC 2010b)
Pérylène	198-55-0	Groupe 3 (CIRC)	Vol.92 (IARC 2010b)
Triphénylène	217-59-4	Groupe 3 (CIRC)	Vol.92 (IARC 2010b)

\*Seule la monographie du CIRC la plus récente est indiquée

Classification du CIRC ; groupe 1 : cancérigène avéré pour l'Homme, groupe 2A : probablement cancérigène pour l'Homme, groupe 2B : possiblement cancérigène pour l'Homme, groupe 3 : inclassable quant à sa cancérigénicité pour l'Homme.

Classification du règlement CLP ; catégorie 1A : substance dont le potentiel cancérigène chez l'Homme est avéré, catégorie 1B : substance dont le potentiel cancérigène chez l'Homme est supposé, catégorie 2 : substance suspectée d'être cancérigène chez l'Homme.

Classification du DECOS ; catégorie 1A : le composé est connu pour être cancérigène chez l'Homme, catégorie 1B : le composé est un cancérigène présumé chez l'Homme, catégorie 2 : le composé est un cancérigène suspecté chez l'Homme.

Classification du NTP ; « cancérigène connu pour l'Homme » (known to be Human carcinogen en anglais) et « raisonnablement considéré comme cancérigène pour l'Homme » (reasonably anticipated to be Human carcinogen en anglais).

D'autres effets toxiques que le cancer ont été rapportés pour certains HAP en cas d'exposition chronique. Ces effets se manifestent par des atteintes du foie ou des reins, des maladies cardiovasculaires (Mallah et al. 2022), des perturbations du système nerveux, du système immunitaire ou du développement (Perera et al. 2005; Abdel-Shafy et Mansour 2016). La toxicité aiguë des HAP se manifeste par une irritation des yeux ou de la peau, des troubles digestifs (nausées, vomissements, diarrhée, etc.) (ECHA 2022; Kim et al. 2013).

Plusieurs types d'approches sont utilisés pour évaluer la toxicité d'un mélange d'HAP : une approche substance par substance présentes dans le mélange et des approches par mélanges d'HAP (Doornaert et Pichard 2005). Dans le cadre de l'approche substance par substance, la toxicité du mélange va dépendre de la toxicité relative de chaque substance composant le mélange et de sa concentration dans le mélange. La toxicité relative d'un HAP est exprimée par un facteur d'équivalence toxique (FET). Ce facteur se fonde sur des données expérimentales pour quantifier la toxicité d'une substance par rapport à une substance dite de référence appartenant à la famille chimique considérée. La substance de référence est établie comme la plus dangereuse, bien souvent, du fait d'une meilleure caractérisation des dangers de cette substance. Dans le cas de la famille des HAP, la substance de référence est le benzo[a]pyrène, très largement étudié (Petry, Schmid, et Schlatter 1996). En 2003, l'INERIS a proposé une table des FET existants (Annexe 2), principalement basée sur les FET proposés par Nisbet et LaGoy (Nisbet et LaGoy 1992).

L'approche substance par substance considère que les effets de chacun des HAP du mélange sont additifs, ce qui permet de quantifier la toxicité du mélange en déterminant l'équivalent toxique du mélange (TEQ) (ou équivalent en benzo[a]pyrène) prenant en compte à la fois les concentrations en HAP du mélange et leur toxicité relative, telles qu'indiquées dans l'équation ci-dessous (ATSDR 2022) :

$$TEQ = \sum(C_i \times FET_i)$$

Avec :

*TEQ* : équivalent toxique du mélange d'HAP (en  $ng/m^3$  ou  $\mu g/m^3$ )

*C<sub>i</sub>* : concentration de l'HAP<sub>i</sub> (en  $ng/m^3$  ou  $\mu g/m^3$ )

*FET<sub>i</sub>* : facteur d'équivalence toxique de l'HAP<sub>i</sub>

La valeur du TEQ dépend donc de plusieurs facteurs comme le FET, la concentration de chacun des HAP pris en compte, le nombre et la nature des HAP considérés, et la prise en compte des HAP de la phase gazeuse et/ou particulaire. Pour l'évaluation de la cancérogénicité d'un mélange d'HAP, le TEQ est généralement déterminé en considérant les 16 HAP<sup>4</sup> identifiés comme prioritaires par l'US EPA, au regard des données disponibles relatives à leur toxicité, leur occurrence dans les mélanges d'HAP et leur potentiel d'exposition (Bojes et Pope 2007). Les concentrations en HAP peuvent être mesurées dans les phases particulaire et/ou gazeuse. Il est généralement recommandé de les mesurer dans les deux phases (Boström et al. 2002).

L'évaluation de la toxicité d'un mélange d'HAP par l'approche substance par substance peut aussi être appliquée à une pathologie précise, par exemple le cancer du poumon. Dans ce

---

<sup>4</sup> Acénaphène, acénaphylène, anthracène, benzo[a]anthracène, benzo[a]pyrène, benzo[b]fluoranthène, benzo[g,h,i]pérylène, benzo[k]fluoranthène, chrysène, dibenzo[a,h]anthracène, fluoranthène, fluorène, indéno[1,2,3-cd]pyrène, naphthalène, phénanthrène et pyrène.

cas, le TEQ du mélange d'HAP, prendra uniquement en compte les HAP classés « cancérogènes supposés » pour le cancer du poumon par le règlement européen CLP (catégorie 1B) à savoir : le benzo[a]pyrène, le dibenzo[a,h]anthracène, le benzo[a]anthracène, le benzo[b]fluoranthène, le benzo[k]fluoranthène et le chrysène (Petit 2016).

D'autres approches par mélanges existent pour évaluer la toxicité d'un mélange d'HAP, et plus particulièrement la cancérogénicité d'un mélange d'HAP (Doornaert et Pichard 2005). L'approche utilisant le benzo[a]pyrène comme indicateur d'un mélange d'HAP considère que lorsque le benzo[a]pyrène est mesurable, le risque induit par les HAP d'un mélange est proportionnel à sa concentration. Mais cette approche est applicable uniquement aux mélanges avec des concentrations importantes de benzo[a]pyrène : par exemple, les émissions en cokerie ou certains mélanges pour lesquels des potentiels cancérogènes ont été calculés, tels que les gaz d'échappement de moteurs thermiques, les goudrons et les bitumes de toitures, les fumées de charbon et les fumées de bois (Doornaert et Pichard 2005).

## 2.1.3 Surveillance des expositions aux mélanges d'HAP

### 2.1.3.1 Surveillance des différents environnements

#### ❖ Mesures dans l'air

- Mesures dans l'air des lieux de travail

Initialement, les méthodes d'analyses utilisées pour la surveillance atmosphérique ne permettaient pas de quantifier directement les HAP d'un mélange. L'estimation de l'exposition aux HAP se faisait en déterminant la fraction soluble dans le benzène des composés émis par des mélanges riches en HAP, comme les brais ou les goudrons de houille (Bogey 2018). Les progrès techniques ont rendu possible de doser individuellement les divers HAP émis. La caractérisation de l'émission globale de HAP s'est effectuée successivement par le dosage du benzo[a]pyrène, puis par celui des 16 HAP identifiés comme prioritaires par l'US EPA. Actuellement, il est recommandé de mesurer ces 16 HAP à la fois dans les phases gazeuse et particulaire des émissions.

En France, le ministère du travail a fixé, dans la circulaire du 12 mai 1986<sup>5</sup> une valeur limite d'exposition moyennée sur 8 heures de 0,2 mg/m<sup>3</sup> pour la « fraction soluble dans le benzène » des vapeurs ou aérosols de brai de houille. La caisse nationale d'assurance maladie (CNAM) a recommandé quant à elle le dosage atmosphérique du benzo[a]pyrène au poste de travail, puisqu'il présente l'avantage d'être très bien caractérisé (par rapport aux autres HAP) en ce qui concerne sa toxicité et d'être relativement abondant dans les mélanges (1 à 2% d'un mélange d'HAP) (Tremblay et al. 2000). La CNAM, au travers de recommandations adoptées entre 1983 et 1986 par plusieurs comités techniques nationaux, avait fixé comme objectif de maintenir la teneur en benzo[a]pyrène au poste de travail en deçà d'une valeur de 150 ng/m<sup>3</sup> (valeur moyennée sur 8 heures). A noter que ces recommandations ne sont aujourd'hui plus en vigueur (INRS 2022).

Dans son avis de décembre 2022, le comité d'évaluation du risque de l'Agence européenne des produits chimiques (ECHA) a conclu qu'aucune valeur limite d'exposition professionnelle sans effet ne pouvait être recommandée (ECHA 2022). Il a établi des corrélations entre la concentration pour la fraction inhalable du benzo[a]pyrène et les excès de risque de cancer

---

<sup>5</sup> Circulaire n°7 du 12 mai 1986 complétant l'annexe II de la circulaire du ministère du travail du 14 mai 1985 relative à la prévention des cancers d'origine professionnelle.



pulmonaire (en considérant une exposition de 8 heures par jour, 5 jours par semaine sur une période travaillée de 40 ans) (Tableau 2)

**Tableau 2 : Calculs d'excès de risque de cancer pulmonaire pour une exposition professionnelle à différentes concentrations de benzo[a]pyrène (ECHA 2022)**

Concentration de benzo[a]pyrène (pour la fraction inhalable en ng/m <sup>3</sup> )	Excès de risque de cancer pulmonaire (nombre de cas pour 100 000 travailleurs exposés)
1	0,56
2	1,1
5	2,8
10	5,6
20	11
50	28
100	56
200	110
500	280
1000	560

- Mesures dans l'air ambiant

Au niveau européen, la directive 2004/107/CE a fixé une valeur cible notamment pour la concentration de benzo[a]pyrène (utilisé comme traceur du risque cancérigène lié aux HAP), dans l'air ambiant, afin d'éviter, prévenir ou réduire les effets nocifs des HAP sur la santé des personnes et sur l'environnement dans son ensemble. Ainsi, une valeur cible de 1 ng/m<sup>3</sup>, correspondant à la concentration moyenne calculée sur l'année civile du contenu total de la fraction PM<sub>10</sub><sup>6</sup>, est applicable depuis le 31 décembre 2012.

#### ❖ Mesures dans les sols et sédiments

La surveillance des concentrations en HAP dans les sols et les sédiments est principalement mise en place dans le cadre de la gestion des sites pollués. Des valeurs de constat d'impact (VCI) sont disponibles pour certains HAP (Tableau 3), correspondant aux concentrations en HAP dans le sol ou les sédiments pouvant générer un impact sur l'environnement ou la santé humaine (Mossman et Koch-Mathian 2001).

<sup>6</sup> La fraction PM<sub>10</sub> est définie dans la directive comme correspondant aux particules qui passent dans un orifice d'entrée calibré tel que défini dans la norme EN 12341 avec un rendement de séparation de 50 % pour un diamètre aérodynamique de 10 µm.

Tableau 3 : Valeurs de constat d'impact (VCI) pour certains HAP (Mossman et Koch-Mathian 2001)

	VCI dans le sol (en mg/kg de terre sèche)	
	usage sensible (résidentiel)	usage non sensible (industriel)
Benzo[a]anthracène	13,9	252
Benzo[k]fluoranthène	900	2520
Chrysène	10350	25200
Benzo[a]pyrène	7	25
Fluoranthène	6100	sans valeur limite
Indéno[1,2,3-cd]pyrène	16,1	252
Naphtalène	46	sans valeur limite

#### ❖ Mesures dans l'eau

Les HAP présents dans l'air peuvent contaminer les eaux de surface, les eaux souterraines, les eaux usées industrielles et les eaux potables. La directive européenne 2013/39/UE<sup>7</sup> établit une liste de substances dites prioritaires c'est-à-dire présentant un risque significatif pour ou à travers l'environnement aquatique. Dans cette directive, le fluoranthène, le naphtalène, l'anthracène, le benzo[a]pyrène, le benzo[b]fluoranthène, le benzo[g,h,i]pérylène, le benzo[k]fluoranthène, et l'indéno[1,2,3-cd]pyrène sont considérés comme des substances prioritaires. Par ailleurs, la directive fixe, pour les eaux de surface, des normes de qualité environnementale exprimées en moyenne annuelle (NQE-MA) ou en concentration maximale admissible (NQE-CMA). Les normes de qualité environnementale représentent la limite de concentration dans les eaux de surface au-delà de laquelle la substance est considérée comme ayant un impact significatif sur l'environnement et la santé humaine (Tableau 4).

<sup>7</sup> Il s'agit de la directive 2013/39/UE du Parlement européen et du conseil du 12 août 2013 modifiant les directives 2000/20/CE et 2008/105/CE en ce qui concerne les substances prioritaires pour la politique dans le domaine de l'eau.

Tableau 4 : Normes de qualité environnementale des différents HAP pour les eaux de surface

Substance	NQE-MA (µg/L)	NQE-CMA (µg/L)
Anthracène	0,1	0,1
Fluoranthène	0,0063	0,12
Naphtalène	2	130
Benzo[a]pyrène	$1,7 \cdot 10^{-4}$	0,27
Benzo[b]fluoranthène	se rapporter à la valeur du benzo[a]pyrène*	0,017
Benzo[g,h,i]pérylène		0,017
Benzo[k]fluoranthène		8,2
Indéno[1,2,3-cd]pyrène		sans valeur limite

\* Le benzo[a]pyrène est considéré comme un marqueur du benzo[b]fluoranthène, du benzo[g,h,i]pérylène, du benzo[k]fluoranthène, et de l'indéno[1,2,3-cd]pyrène.

Il existe aussi des valeurs de constat d'impact pour les eaux de surface et souterraines pour le benzo[a]pyrène (0,01 µg/L pour un usage sensible et 0,05 µg/L pour un usage non sensible) et pour la somme du benzo[b]fluoranthène, du benzo[k]fluoranthène, du benzo[g,h,i]pérylène, du benzo[a]pyrène, de l'indéno[1,2,3-cd]pyrène et du fluoranthène (0,2 µg/L pour un usage sensible et 1 µg/L pour un usage non sensible) (Mossman et Koch-Mathian 2001).

### 2.1.3.2 Surveillance biologique des expositions professionnelles

En milieu professionnel, l'exposition aux HAP peut impliquer toutes les voies de pénétration : respiratoire (inhalation de vapeurs, de particules, etc.), cutanée (contact direct ou à travers des vêtements ou des outils contaminés) ou digestive (transfert main-bouche suite à un défaut d'hygiène) (Nikolova-Pavageau et Pillière 2018).

Le Code du travail dans son article R.4412-149 fixe, dans le cadre de la transposition de la directive (UE) 2019/130 du Parlement européen et du conseil<sup>8</sup>, une mention « peau »<sup>9</sup>, pour les mélanges d'hydrocarbures aromatiques polycycliques, en particulier ceux contenant du benzo[a]pyrène et pour les huiles minérales qui ont été auparavant utilisées dans des moteurs à combustion interne pour lubrifier et refroidir les pièces mobiles du moteur.

Dans le but de prendre en compte toutes ces voies de pénétration, une surveillance biologique peut être mise en place en complément d'une métrologie atmosphérique. Les indicateurs biologiques d'exposition (IBE) d'HAP sont le plus souvent des métabolites urinaires monohydroxylés d'HAP. Les plus répandus sont le 1-hydroxypyrene urinaire (1-OHP) et le 3-hydroxybenzo[a]pyrène urinaire (3-OHBaP). Le 1-OHP est le biomarqueur d'exposition aux HAP le plus utilisé, en raison de sa concentration élevée dans les urines, de l'ordre du µg/L. Il est un indicateur d'exposition au pyrène. Le pyrène est un HAP non cancérigène, sa

<sup>8</sup> Il s'agit de la directive 2019/130 du Parlement européen et du Conseil du 16 janvier 2019 portant modification de la directive 2004/37/CE concernant la protection des travailleurs contre les risques liés à l'exposition à des agents cancérigènes ou mutagènes au travail.

<sup>9</sup> La mention « peau » indique la possibilité d'une pénétration cutanée importante.

proportion relative, par rapport aux HAP cancérogènes (par exemple, le ratio pyrène/benzo[a]pyrène), est très variable d'une exposition à l'autre. Par conséquent, le 1-OHP ne peut être, à lui seul, utilisé pour évaluer le risque cancérogène. Les résultats de la surveillance biologique du 1-OHP ne sont interprétables que lorsque les concentrations en pyrène et en benzo[a]pyrène (et éventuellement, les ratios des concentrations du pyrène et d'autres HAP cancérogènes) sont connues, dans la source d'émission. Il en va de même pour les métabolites urinaires des autres HAP non cancérogènes. Le 3-OHBaP a l'avantage d'être l'indicateur d'un HAP cancérogène, puisqu'il est le métabolite principal du benzo[a]pyrène. Cependant, son dosage nécessite une méthode de détection particulièrement sensible puisqu'il est présent en concentration faible dans les urines (de l'ordre du ng/L) (Nikolova-Pavageau et Pillière 2018).

Des valeurs biologiques d'interprétation (VBI) en milieu de travail sont proposées par différents organismes pour le 1-OHP urinaire et le 3-OHBaP urinaire. La conférence américaine des hygiénistes industriels gouvernementaux (ACGIH®) a adopté en 2017, pour le 1-OHP urinaire, un indice biologique d'exposition (BEI) fixé à 2,5 µg/L (en fin de poste et en fin de semaine, après hydrolyse). Cette valeur représente le niveau moyen auquel le 1-OHP est susceptible de se situer dans les urines de travailleurs, après une exposition professionnelle (8 heures par jour, 5 jours par semaine) par inhalation à la concentration en pyrène correspondant à la valeur limite atmosphérique de 0,2 mg/m<sup>3</sup> (ACGIH® 2018). L'INRS propose, pour une exposition journalière au benzo[a]pyrène atmosphérique de 150 ng/m<sup>3</sup>, une valeur seuil de 3-OHBaP urinaire de 0,83 ng/g de créatinine, en début de poste, au 2<sup>ème</sup> jour ou de 0,97 ng/g de créatinine, en début de poste, au 5<sup>ème</sup> jour (prenant en compte une éventuelle accumulation au cours de la semaine) (Nikolova-Pavageau et Pillière 2018). Par ailleurs, la fondation allemande pour la recherche (DFG) a établi une corrélation entre les concentrations atmosphériques de benzo[a]pyrène au poste de travail et les concentrations en 3-OHBaP dans l'urine (Tableau 5) (Deutsche Forschungsgemeinschaft 2021). Il est à noter que ces corrélations ont également été recommandées par le comité d'évaluation des risques de l'ECHA en 2022 (ECHA 2022).

En outre, ce comité recommande également d'utiliser le 95<sup>ème</sup> percentile des concentrations du 1-OHP urinaires mesurées dans la population générale non fumeuse comme valeur guide biologique (BGV ou biological guidance value) (ECHA 2022).

**Tableau 5 : Corrélation entre la concentration atmosphérique en benzo[a]pyrène et la concentration urinaire en 3-hydroxybenzo[a]pyrène (après hydrolyse) chez des travailleurs exposés (Deutsche Forschungsgemeinschaft 2021)**

Concentration atmosphérique en benzo[a]pyrène (µg/m <sup>3</sup> )	Concentration en 3-hydroxybenzo[a]pyrène au début du poste suivant (ng/g de créatinine)
0,07	0,7
0,35	2
0,7	3,5
1,0	5
1,5	7

Les métabolites hydroxylés du phénanthrène et du fluorène peuvent permettre de suivre non seulement l'exposition aux HAP en population générale (quantifiés dans 80 à 100% des échantillons urinaires des sujets de la population générale française dans l'étude Esteban de Santé publique France (Santé publique France, 2023)) mais aussi les faibles expositions dans les secteurs industriels où les HAP légers, préférentiellement présents dans la phase gazeuse, sont majoritaires. Dans des études en milieu professionnel, l'équipe du laboratoire de toxicologie professionnelle et environnementale de l'université de Grenoble-Alpes a montré que les 2- et 3-hydroxyfluorènes et le 2-hydroxyphénanthrène en particulier étaient mieux corrélés aux concentrations atmosphériques des composés parents et moins influencés par le tabagisme que les naphhtols urinaires (Barbeau, 2017 ; Persoons, 2020).

En conclusion, le développement de la surveillance biologique des expositions est fortement limité par la teneur en HAP fréquemment faible dans les émissions, limitant ainsi l'identification de biomarqueurs d'exposition suffisamment sensibles et l'élaboration des valeurs de référence en milieu professionnel.

La surveillance biologique des effets précoces des HAP est aussi possible. Les biomarqueurs d'effets les plus courants sont la concentration urinaire des adduits de la 8-oxo-7,8-dihydro-2'-désoxyguanosine (8-oxo-dG) pour le stress oxydatif et les ruptures des brins d'ADN dans les lymphocytes circulants pour les effets génotoxiques (Louro et al. 2022).

## 2.2 Expositions aux hydrocarbures aromatiques polycycliques

### 2.2.1 Mono expositions à un HAP spécifique

Les HAP ne sont pas synthétisés chimiquement à des fins industrielles. Cependant, quelques-uns peuvent être extraits du goudron ou du pétrole et faire l'objet d'une utilisation commerciale, le plus souvent comme intermédiaires de synthèse (Abdel-Shafy et Mansour 2016). Les utilisations générales de certains HAP sont les suivantes :

- acénaphène : fabrication de pigments, de colorants, de plastiques, de pesticides et de produits pharmaceutiques ;
- anthracène : diluant pour les produits de préservation du bois et fabrication de colorants et de pigments ;
- fluoranthène : fabrication de produits agrochimiques, de colorants et de produits pharmaceutiques ;
- fluorène : fabrication de produits pharmaceutiques, de pigments, de colorants, de pesticides et de plastiques thermodurcis ;
- phénanthrène : fabrication de résines et de pesticides ;
- pyrène : fabrication de pigments.

## 2.2.2 Expositions à des mélanges de HAP

### 2.2.2.1 Les sources naturelles

Dans la nature, l'exposition aux HAP se fait toujours sous forme de mélanges, dont les caractéristiques peuvent fortement varier d'une exposition à l'autre. Plusieurs phénomènes naturels sont à l'origine de la formation d'HAP (Patel et al. 2020) :

- la combustion incomplète de matière organique<sup>10</sup> provoquée par des feux de forêts ou des éruptions volcaniques ;
- la formation du pétrole et du gaz naturel<sup>11</sup> suite à la décomposition et la maturation de détritiques d'origines animale ou végétale ;
- la synthèse biologique d'HAP par des bactéries, des algues ou des plantes est suggérée par quelques auteurs, tandis que d'autres auteurs privilégient l'hypothèse de l'accumulation des HAP par ces organismes (Wilcke 2000).

### 2.2.2.2 Les sources anthropiques

Dans la majorité des cas, l'exposition aux HAP résulte de l'activité humaine, en milieu domestique, agricole et industriel. La source principale de ces émissions est la combustion incomplète de matière organique (Patel et al. 2020), qui résulte de nombreux processus tels que : la production de chaleur et d'énergie, de ciment, de fer et d'acier, l'incinération de déchets (d'origine agricoles, domestiques ou industrielles). La pyrolyse<sup>12</sup> de composés complexes comme le pétrole en hydrocarbures plus légers ou la distillation du charbon en goudron et en coke, produit également des HAP (Patel et al. 2020). Les activités domestiques, comme le tabagisme, les émissions des moteurs thermiques, le chauffage au bois ou au charbon et la cuisson d'aliments sont d'autres sources d'émissions d'HAP. L'utilisation de mélanges d'HAP issus de sources naturelles est aussi une source d'exposition importante,

---

<sup>10</sup> L'augmentation de la température associée à un déficit en oxygène conduit à la combustion incomplète de la matière organique qui est la première source d'émission d'HAP. Les radicaux formés dans ces conditions vont être à l'origine de la formation du premier cycle aromatique (benzène ou phényle). D'autres réactions telles que l'addition d'acétylène, de vinylacétylène ou de méthyle, vont permettre la formation d'autres cycles aromatiques, conduisant ainsi à la formation d'HAP. Le type d'HAP formé va dépendre de la composition de la matière organique et des différents paramètres physiques (température, niveaux d'oxygène, etc.) (Reizer, Viskolcz, et Fiser 2022).

<sup>11</sup> La matière organique issue de la décomposition de micro-organismes et de végétaux s'accumule au fond des océans avec de la matière minérale. La matière organique est ensuite dégradée biochimiquement par des bactéries anaérobies produisant une boue appelée kérogène, principalement constituée d'atomes de carbone et d'hydrogène. L'enfouissement du kérogène dans le sol au fur et à mesure de la sédimentation, provoque une augmentation de la température et de la pression permettant une dégradation thermique anaérobie. Cette dégradation va permettre la formation de roche-mère uniquement constituée d'atomes de carbone et d'hydrogène. L'augmentation continue de la température et de la pression, va permettre la formation d'hydrocarbures de plus en plus complexes, constituant, selon les conditions, des matériaux solides (charbon), visqueux (goudrons, bitumes), liquides (pétrole) ou gazeux (gaz naturel).

<sup>12</sup> La pyrolyse est un processus endothermique de décomposition de la matière organique en l'absence d'oxygène (ou en quantité très faible). Les températures suffisamment élevées provoquent une rupture des liaisons chimiques, et favorisent la formation de structures aromatiques pouvant évoluer en HAP. Le type et la quantité d'HAP formés dépendent de la température, de la durée du processus, du type de matière organique et de la présence d'éventuels catalyseurs ou d'additifs.

notamment dans les industries pétrochimiques et connexes, dans les secteurs de production et d'utilisation de bitume, d'asphalte, d'aluminium et de créosote.

Les profils d'émission varient fortement d'une source d'émission d'HAP à l'autre. Le Citepa (Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique) analyse régulièrement les émissions de polluants rejetées dans l'atmosphère par différents secteurs d'activité. Dans ces analyses, seuls les 8 HAP réglementés en France<sup>13</sup> sont pris en compte, à savoir : le benzo[a]pyrène, le benzo[b]fluoranthène, le benzo[k]fluoranthène, le indeno[1,2,3-c,d]pyrène, le benzo[g,h,i]pérylène, le fluoranthène, le dibenzo[a,h]anthracène et le benzo[a]anthracène. Selon le Citepa, en 2021, le fluoranthène a été le représentant des HAP le plus émis dans le secteur de l'industrie (70%), du transport (67%), de l'agriculture (55%), du résidentiel et du tertiaire (54%) et de l'industrie de l'énergie (23%). Le dibenzo[a,h]anthracène est apparu comme le HAP le moins émis tous secteurs confondus, représentant entre 0 et 2% des émissions d'HAP des différents secteurs. Le profil d'émission du secteur du traitement des déchets semble différent des autres secteurs puisque sur les 8 HAP analysés, seuls 4 étaient émis dans ce secteur (benzo[a]pyrène, benzo[b]fluoranthène, benzo[k]fluoranthène et indeno[1,2,3-c,d]pyrène), dans des proportions similaires (Citepa 2023).

## 2.3 Focus sur les procédés ou travaux exposant aux HAP classés par les organismes de référence.

Dans l'objectif d'identifier des procédés ou travaux exposant aux HAP, et conformément au guide méthodologique permettant d'identifier un procédé<sup>14</sup> comme cancérigène (Anses 2023), les experts se sont basés sur les procédés ou travaux évalués et classés par les organismes de référence classant des procédés.

Le CIRC, le DECOS et le NTP ont classé des procédés<sup>15</sup> exposant aux HAP, ainsi que des mélanges pouvant être émis ou mis en œuvre par des procédés, en fonction de leur caractère cancérigène.

La liste des agents classés par le CIRC, le DECOS et le NTP à la date de février 2022 est disponible sur les sites internet de ces organismes<sup>16,17,18</sup>. Les procédés ou travaux exposant aux HAP ainsi que les mélanges d'HAP pouvant être émis ou mis en œuvre par les procédés sont listés dans le tableau 6.

---

<sup>13</sup> Arrêté modifié du 2 février 1998 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation.

<sup>14</sup> Conformément au guide méthodologique (Anses 2023), les procédés identifiés concernent non seulement des procédés industriels mais également toute organisation du travail, profession, tâche professionnelle ou exposition professionnelle.

<sup>15</sup> Pour plus de détails, se référer au guide méthodologique permettant d'identifier un procédé comme cancérigène (Anses 2023) : [RAPPORT de l'Anses relatif à l'identification de travaux ou de procédés à inscrire à l'arrêté fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérigènes - Guide méthodologique permettant d'identifier un procédé comme cancérigène](#), consulté en décembre 2023.

<sup>16</sup> [Monographs.iarc.who.int - List of classifications](https://monographs.iarc.who.int/List-of-classifications), consulté en février 2022.

<sup>17</sup> [Ntp.niehs.nih.gov - Completed RoC evaluations](https://ntp.niehs.nih.gov/Completed-RoC-evaluations), consulté en février 2022.

<sup>18</sup> [Healthcouncil.nl - List of substances which are evaluated on adverse health effects](https://healthcouncil.nl/List-of-substances-which-are-evaluated-on-adverse-health-effects), consulté en février 2022.

Tableau 6 : Liste des procédés ou travaux exposant aux HAP classés par le CIRC, le DECOS et le NTP.

Procédés ou travaux (Fr)	Procédés ou travaux (En)	Classification (groupe/catégorie)*	Référence documentaire**
Expositions à la suie de cheminées lors du ramonage	Soot (as found in occupational exposure of chimney sweeps)	1 (CIRC)	Vol.100F (IARC 2012)
	Soots	Cancérogène connu pour l'Homme (NTP)	RoC <sup>19</sup> (NTP 1980)
Expositions aux bitumes de distillation directe et à leurs émissions lors de l'asphaltage des routes	Bitumens, occupational exposure to straight-run bitumens and their emissions during road paving	2B (CIRC)	Vol. 103 (IARC 2013)
Expositions aux bitumes durs et à leurs émissions lors des travaux d'asphalte coulé	Bitumens, occupational exposure to hard bitumens and their emissions during mastic asphalt work	2B (CIRC)	Vol. 103 (IARC 2013)
Expositions aux bitumes oxydés et à leurs émissions lors de travaux d'étanchéité de toitures	Bitumens, occupational exposure to oxidized bitumens and their emissions during roofing	2A (CIRC)	Vol. 103 (IARC 2013)
Expositions dans l'industrie de la fabrication du caoutchouc	Rubber manufacturing industry	1 (CIRC)	Vol. 100F (IARC 2013)
Expositions du fait de procédés d'impression	Printing processes (occupational exposures in)	2B (CIRC)	Vol. 65 (IARC 1996)
Expositions en tant que peintre	Painter (occupational exposure as a)	1 (CIRC)	Vol. 100F (IARC 2012)
Expositions en tant que pompier	Firefighter (occupational exposure as a)	1 (CIRC)	Vol. 132 (IARC 2023)
Expositions lors de la distillation du goudron de houille	Coal-tar distillation	1 (CIRC)	Vol. 100F (IARC 2012)
Expositions lors de la fabrication de peinture	Paint manufacture (occupational exposure in)	3 (CIRC)	Vol. 47 (IARC 1989a)
Expositions lors de la fabrication de verrerie d'art, de récipients en verre et d'articles en verre pressé	Art glass, glass containers and pressed ware (manufacture of)	2A (CIRC)	Vol. 58 (IARC 1993)
Expositions lors de la fabrication de verres plats <sup>20</sup> et de verres spéciaux	Flat-glass and specialty glass (manufacture of)	3 (CIRC)	Vol. 58 (IARC 1993)
Expositions lors de la fabrication d'électrodes en carbone	Carbon electrode manufacture	2A (CIRC)	Vol. 92 (IARC 2010b)
Expositions lors de la fonte de fer et d'acier	Iron and steel founding (occupational exposure during)	1 (CIRC)	Vol. 100F (IARC 2012)

<sup>19</sup> Report on Carcinogens

<sup>20</sup> Les verres plats font partie de l'ensemble des verres fabriqués sous forme de feuilles. Produits principalement pour l'industrie du vitrage mais aussi pour la fabrication des miroirs, leur sens fait opposition à la famille des verres creux (gobeletterie, produits de laboratoire, récipients, etc.). [Infovitrail.com](http://Infovitrail.com) - Verre plat, consulté en juin 2023.



	Iron and steel founding emissions	1A (DECOS)	Rapport du DECOS "Iron and steel founding emissions" de 2020 (Health Council of the Netherlands 2020)
<b>Expositions lors de la gazéification du charbon</b>	Coal gasification	1 (CIRC)	Vol. 100F (IARC 2012)
	Emission during coal gasification	1A (DECOS)	Rapport du DECOS "Emission during coal gasification" de 2019 (Health Council of the Netherlands 2019)
<b>Expositions lors de la production d'aluminium</b>	Aluminium production	1 (CIRC)	Vol. 100F (IARC 2012)
<b>Expositions lors de la production de carbure de calcium</b>	Calcium carbide production	3 (CIRC)	Vol. 92 (IARC 2010b)
<b>Expositions lors de la production de coke</b>	Coke production	1 (CIRC)	Vol. 100F (IARC 2012)
	Coke Oven Emissions	Cancérogène connu pour l'Homme (NTP)	RoC (NTP 1981)
<b>Expositions lors du raffinage du pétrole</b>	Petroleum refining (occupational exposures in)	2A (CIRC)	Vol. 45 (IARC 1989a)
<b>Travaux exposant au noir de carbone</b>	Carbon black	2B (CIRC)	Vol. 93 (IARC 2010b)
<b>Travaux exposant au pétrole brut</b>	Crude oil	3 (CIRC)	Vol. 45 (IARC 1989a)
<b>Travaux exposant à l'essence</b>	Gasoline	2B (CIRC)	Vol. 105 (IARC 2014)
<b>Travaux exposant aux brais de goudron de houille</b>	Coal-tar pitch	1 (CIRC)	Vol. 100F (IARC 2012)
	Coal Tars and Coal-Tar Pitches	Cancérogène connu pour l'Homme (NTP)	RoC (NTP 1980)
<b>Travaux exposant aux carburants pour l'aviation</b>	Jet fuel	3 (CIRC)	Vol. 45 (IARC 1989a)
<b>Travaux exposant aux carburants diesel marin</b>	Diesel fuel, marine	2B (CIRC)	Vol. 45 (IARC 1989a)
<b>Travaux exposant aux carburants diesel, distillat (léger)</b>	Diesel fuels, distillate (light)	3 (CIRC)	Vol. 45 (IARC 1989a)
<b>Travaux exposant aux créosotes</b>	Creosotes	2A (CIRC)	Vol. 92 (IARC 2010b)
<b>Travaux exposant aux distillats légers des carburants</b>	Fuel oils, distillate (light)	3 (CIRC)	Vol. 45 (IARC 1989a)
<b>Travaux exposant aux émissions de friture à hautes températures</b>	Frying, emissions from high-temperature	2A (CIRC)	Vol. 95 (IARC 2010a)
<b>Travaux exposant aux émissions de moteurs diesel</b>	Engine exhaust, diesel	1 (CIRC)	Vol. 105 (IARC 2014)
	Diesel Exhaust Particulates	Raisonnement considéré comme	RoC (NTP 2000)

		cancérogène pour l'Homme (NTP)	
<b>Travaux exposant aux encres d'imprimerie</b>	Printing inks	3 (CIRC)	Vol. 65 (IARC 1996)
<b>Travaux exposant aux fumées de soudage</b>	Welding fumes	1 (CIRC)	Vol. 118 (IARC 2018)
<b>Travaux exposant aux gaz d'échappement, essence</b>	Engine exhaust, gasoline	2B (CIRC)	Vol. 105 (IARC 2014)
<b>Travaux exposant aux huiles de schiste</b>	Shale oils	1 (CIRC)	Vol. 100F (IARC 2012)
<b>Travaux exposant aux huiles minérales, non traitées ou légèrement traitées</b>	Mineral oils, untreated or mildly treated	1 (CIRC)	Vol. 100F (IARC 2012)
	Mineral Oils: Untreated and Mildly Treated	Cancérogène connu pour l'Homme (NTP)	RoC (NTP 1980)
<b>Travaux exposant aux huiles minérales, sévèrement raffinées</b>	Mineral oils, highly-refined	3 (CIRC)	Vol. 33 (IARC 1984)
<b>Travaux exposant aux poussières de charbon</b>	Coal dust	3 (CIRC)	Vol. 68 (IARC 1997)
<b>Travaux exposant aux résidus lourds des carburants</b>	Fuel oils, residual (heavy)	2B (CIRC)	Vol. 45 (IARC 1989a)
<b>Travaux exposant aux solvants pétroliers</b>	Petroleum solvents	3 (CIRC)	Vol. 47 (IARC 1989b)

\*Classification des organismes de référence :

1. Classification du CIRC ; groupe 1 : cancérogène avéré pour l'Homme, groupe 2A : probablement cancérogène pour l'Homme, groupe 2B : possiblement cancérogène pour l'Homme, groupe 3 : inclassable quant à sa cancérogénicité pour l'Homme ;
2. Classification du DECOS ; catégorie 1A : cancérogène chez l'Homme, catégorie 1B : cancérogène présumé chez l'Homme, catégorie 2 : cancérogène suspecté chez l'Homme.
3. Classification du NTP ; « cancérogènes connus pour l'Homme » (known to be Human carcinogen en anglais), « raisonnablement considérés comme cancérogènes pour l'homme » (reasonably anticipated to be Human carcinogen en anglais).

\*\* La référence documentaire correspond à la monographie du CIRC la plus récente.

### 2.3.1 Identification des procédés ou travaux exposant aux HAP dont la cancérogénicité est à expertiser

Les procédés et travaux exposant aux HAP à considérer dans cette expertise sont d'une part, ceux déjà classés par les organismes de référence et d'autre part, ceux répondant aux critères détaillés dans le guide méthodologique de l'Anses permettant d'identifier un procédé comme cancérogène. Il s'agit des procédés ou travaux classés 1 (cancérogènes avérés pour l'Homme) ou 2A (probablement cancérogènes pour l'Homme) par le CIRC, 1A (cancérogènes chez l'Homme) ou 1B (cancérogènes présumés chez l'Homme) par le DECOS et « cancérogènes connus pour l'Homme » par le NTP (Anses 2023) (Tableau 7).

Tableau 7 : Classifications retenues ou non retenues par les experts pour évaluer la cancérogénicité des procédés ou des travaux

	CIRC	DECOS	NTP	Nombre de procédés/agents
Retenues	1, 2A	1A, 1B	« cancérogène connu pour l'Homme »	19
Non retenues	2B, 3	2, 3, 4	« raisonnablement considérés comme des cancérogènes pour l'Homme »	20

Les procédés ou travaux classés 2B et 3 par le CIRC, 2, 3 et 4 par le DECOS, et « raisonnablement considérés comme des cancérogènes pour l'Homme » par le NTP ont été exclus. A noter que les travaux exposant aux émissions de moteurs diesel classés dans le groupe 1 du CIRC en 2014 et classés « raisonnablement considérés comme cancérogènes pour l'Homme » par le NTP en 2000 ont été retenus en raison de leur classification la plus récente.

Dans un second temps, les travaux figurant dans l'arrêté français fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes ont été exclus de la liste des travaux exposant aux HAP dont la cancérogénicité est à expertiser, puisqu'ils sont déjà réglementairement considérés comme cancérogènes.

Dans une troisième étape, l'examen des procédés et travaux identifiés dans le tableau 6 et non exclus à la deuxième étape décrite ci-dessus, a révélé que certains d'entre eux n'exposent pas uniquement aux HAP mais à plusieurs autres agents chimiques susceptibles d'être à l'origine d'effets cancérogènes. De ce fait, les experts ont estimé que leur cancérogénicité n'était pas à considérer dans le cadre spécifique de l'expertise des procédés exposant aux HAP. Ils ont, en revanche, été pris en compte dans les travaux d'expertise relatifs à l'établissement d'une liste hiérarchisée de procédés de travail, en vue d'une évaluation de leur cancérogénicité pour une éventuelle inclusion dans l'arrêté français fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes (Anses 2024).

Les argumentaires ayant conduit à ne pas retenir les procédés ou travaux exposant aux HAP pour une évaluation de leur cancérogénicité dans le cadre de cette saisine sont renseignés dans le tableau 8.

Saisine « 2017-SA-0237 - Procédés cancérogènes »

sant aux HAP classés 1 ou 2A par le CIRC, 1A ou 1B par le DECOS ou « cancérogène connu pour l'Homme » par le NTP non retenus dans cette expertise

Référence documentaire	Argumentation en faveur de la non nécessité d'évaluer la cancérogénicité du procédé dans le cadre de cette expertise relative aux travaux exposant aux HAP
Vol. 100F (IARC 2012)	<p>L'arrêté français fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes a classé les « travaux exposant aux hydrocarbures polycycliques aromatiques présents dans la suie, le goudron, la poix, la fumée ou les poussières de la houille » dans la liste des procédés considérés comme cancérogènes au sens de l'article R. 4412-60 du Code du travail.</p>
RoC (NTP 1980)	<p>Les travaux de ramonage et d'entretien de chaudières et foyers à charbon et de leurs cheminées ou conduits d'évacuation exposant habituellement au contact cutané avec les suies de combustion du charbon figurent dans les tableaux des maladies professionnelles 35 bis du régime agricole et 16 bis du régime général pour les épithéliomas primitifs de la peau, le cancer broncho-pulmonaire primitif et les tumeurs primitives de l'épithélium urinaire (vessie, voies excrétrices supérieures).</p>
Vol. 100F (IARC 2012)	<p>Selon la monographie 100F du CIRC, les travailleurs de l'industrie du caoutchouc peuvent être exposés en plus des hydrocarbures aromatiques polycycliques à plusieurs agents chimiques notamment au 1,3-butadiène, au styrène, à l'acrylonitrile, à des amines aromatiques, à des nitrosamines ainsi qu'aux poussières et fumées provenant des processus de fabrication et de vulcanisation du caoutchouc.</p> <p>Le procédé a été considéré dans les travaux relatifs à l'établissement d'une liste hiérarchisée de procédés de travail en vue d'une évaluation de leur cancérogénicité pour une éventuelle inclusion dans l'arrêté français fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes, mais n'entre pas dans le cadre spécifique de l'expertise des procédés exposant aux HAP.</p>
Vol. 100F (IARC 2012)	<p>Selon la monographie 100F du CIRC, les peintres peuvent être exposés, en plus des hydrocarbures aromatiques polycycliques, à plusieurs autres agents chimiques notamment des vapeurs de solvants et d'additifs, des poussières de pigments et de mélanges inorganiques et organiques complexes (tels que des poussières de liants, de revêtements séchés), à la silice, à</p>

			inclusion dans l'arrêté français fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes, mais n'est pas pris en compte dans le cadre spécifique de l'expertise des procédés exposant aux HAP.
<b>Expositions en tant que pompier</b>	1 (CIRC)	Vol. 132 (IARC 2023)	<p>Selon la monographie 132 du CIRC, les pompiers sont exposés, en plus des hydrocarbures aromatiques polycycliques, à plusieurs autres produits de combustion (particules fines et ultrafines, oxydes de carbone, oxydes métalliques, benzène, etc.), à la silice, à l'amiante, aux produits chimiques contenus dans les mousses anti-incendie (tels que les substances perfluorées et polyfluorées (PFAS)), aux retardateurs de flamme, aux gaz d'échappement des moteurs diesel et à d'autres dangers (comme le travail en poste de nuit et les rayons ultraviolets ou autres radiations).</p> <p>Le procédé a ainsi été considéré dans les travaux relatifs à l'établissement d'une liste hiérarchisée de procédés de travail en vue d'une évaluation de leur cancérogénicité pour une éventuelle inclusion dans l'arrêté français fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes, mais n'est pas pris en compte dans le cadre spécifique de l'expertise des procédés exposant aux HAP.</p>
<b>Expositions lors de la distillation du goudron de houille</b>	1 (CIRC)	Vol. 100F (IARC 2012)	L'arrêté français fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes a classé les « travaux exposant aux hydrocarbures polycycliques aromatiques présents dans la suie, le goudron, la poix, la fumée ou les poussières de la houille » dans la liste des procédés considérés comme cancérogènes au sens de l'article R. 4412-60 du Code du travail.
<b>Expositions lors de la fabrication de verrerie d'art, de récipients en verre et d'articles en verre pressé</b>	2A (CIRC)	Vol. 58 (IARC 1993)	<p>Selon la monographie 58 du CIRC, les travailleurs fabriquant du cristal et d'autres verres d'art. sont exposés en plus des hydrocarbures aromatiques polycycliques à plusieurs autres agents chimiques, notamment au plomb, à l'arsenic, à des oxydes métalliques dont l'oxyde d'antimoine, à la silice, à l'amiante.</p> <p>Le procédé a ainsi été considéré dans les travaux relatifs à l'établissement d'une liste hiérarchisée de procédés de travail en vue d'une évaluation de leur cancérogénicité pour une éventuelle inclusion dans l'arrêté français fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes, mais n'est pas pris en compte dans le cadre spécifique de l'expertise des procédés exposant aux HAP.</p>
<b>Expositions lors de la</b>	2A (CIRC)	Vol. 92 (IARC 2010)	L'arrêté français fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes, a classé les « travaux exposant aux hydrocarbures polycycliques aromatiques présents dans la suie, le

<b>fabrication d'électrodes en carbone</b>			<p>goudron, la poix, la fumée ou les poussières de la houille » dans la liste des procédés considérés comme cancérogènes au sens de l'article R. 4412-60 du Code du travail.</p> <p>Les travaux de pose de joints à base de brai de houille (pâte chaude) pour la confection ou la réparation de cathodes (brasquage), exposant habituellement à l'inhalation des émissions des goudrons, huiles et brais de houille, ainsi que les travaux de mélangeage, de malaxage et de mise en forme lors de la fabrication d'électrodes destinées à la métallurgie, exposant habituellement à l'inhalation des produits précités figurent dans le tableau 16 bis du régime général pour le cancer broncho-pulmonaire primitif.</p>
<b>Expositions lors de la fonte de fer et d'acier</b>	1 (CIRC)	Vol. 100F (IARC 2012)	<p>Selon les monographies 34 et 100F du CIRC et le document du DECOS, lors de la coulée du fer et de l'acier, les travailleurs sont exposés en plus des hydrocarbures aromatiques polycycliques à plusieurs autres agents chimiques, notamment des poussières métalliques alvéolaires, du quartz, du monoxyde de carbone et des liants organiques (par exemple : formaldéhyde, isocyanates aromatiques, etc.)</p> <p>Le procédé a ainsi été considéré dans les travaux relatifs à l'établissement d'une liste hiérarchisée de procédés de travail en vue d'une évaluation de leur cancérogénicité pour une éventuelle inclusion dans l'arrêté français fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes, mais n'est pas pris en compte dans le cadre spécifique de l'expertise des procédés exposant aux HAP.</p>
	1A (DECOS)	Rapport du DECOS "Iron and steel founding emissions" de 2020 (Health Council of the Netherlands 2020)	
<b>Expositions lors de la gazéification du charbon</b>	1 (CIRC)	Vol. 100F (IARC 2012)	<p>L'arrêté français fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes, a classé les « travaux exposant aux hydrocarbures polycycliques aromatiques présents dans la suie, le goudron, la poix, la fumée ou les poussières de la houille » dans la liste des procédés considérés comme cancérogènes au sens de l'article R. 4412-60 du Code du travail.</p> <p>Les travaux de gazéification du charbon exposent à de nombreuses nuisances dont des suies et des goudrons de houille. Les travaux exposant habituellement à l'inhalation des émissions des goudrons, huiles et brais de houille, dans les unités de production de "gaz de ville" figurent dans le tableau 16 bis du régime général pour le cancer broncho-pulmonaire primitif. Les travaux comportant la manipulation et l'emploi des goudrons, huiles et brais de houille, exposant habituellement à un contact cutané font l'objet du tableau 16 bis du régime général de la Sécurité sociale pour les épithéliomas primitifs de la peau.</p>
	1A (DECOS)	Rapport du DECOS "Emission during coal gasification" de 2019 (Health Council of the Netherlands 2019)	

<b>Expositions lors de la production d'aluminium</b>	1 (CIRC)	Vol. 100F (IARC 2012)	<p>L'arrêté français fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes, a classé les « travaux exposant aux hydrocarbures polycycliques aromatiques présents dans la suie, le goudron, la poix, la fumée ou les poussières de la houille » dans la liste des procédés considérés comme cancérogènes au sens de l'article R. 4412-60 du Code du travail.</p> <p>Les travaux de fabrication de l'aluminium dans les ateliers d'électrolyse selon le procédé à anode continue (procédé Söderberg), exposant habituellement à l'inhalation des émissions des produits précités, ou impliquant l'emploi et la manipulation habituels de ces produits (goudrons, huiles et brais de houille) figurent dans le tableau des maladies professionnelles 16 bis du régime général pour le cancer broncho-pulmonaire primitif et les tumeurs primitives de l'épithélium urinaire (vessie, voies excrétrices supérieures).</p>
<b>Expositions lors de la production de coke</b>	1 (CIRC)	Vol. 100F (IARC 2012)	<p>L'arrêté français fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes, a classé les « travaux exposant aux hydrocarbures polycycliques aromatiques présents dans la suie, le goudron, la poix, la fumée ou les poussières de la houille » dans la liste des procédés considérés comme cancérogènes au sens de l'article R. 4412-60 du Code du travail.</p>
	Cancérogène connu pour l'Homme (NTP)	RoC (NTP 1981)	<p>Les travaux en cokerie des personnels directement affectés à la marche ou à l'entretien des fours ou à la récupération et au traitement des goudrons, exposant habituellement à l'inhalation des émissions des produits précités (goudrons, huiles et brais de houille) figurent dans le tableau des maladies professionnelles 16 bis du régime général pour le cancer broncho-pulmonaire primitif et les tumeurs primitives de l'épithélium urinaire (vessie, voies excrétrices supérieures).</p>
<b>Expositions lors du raffinage du pétrole</b>	2A (CIRC)	Vol. 45 (IARC 1989)	<p>Selon la monographie 45 du CIRC, les travailleurs des raffineries de pétrole peuvent être exposés, en plus des hydrocarbures aromatiques polycycliques, à plusieurs autres agents chimiques cancérogènes notamment le benzène et les composés d'arsenic.</p> <p>Le procédé a ainsi été considéré dans les travaux relatifs à l'établissement d'une liste hiérarchisée de procédés de travail en vue d'une évaluation de leur cancérogénicité pour une éventuelle inclusion dans l'arrêté français fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes, mais n'est pas pris en compte dans le cadre spécifique de l'expertise des procédés exposant aux HAP.</p>
<b>Travaux exposant aux brais de</b>	1 (CIRC)	Vol. 100F (IARC 2012)	<p>L'arrêté français fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes, a classé les « travaux exposant aux hydrocarbures polycycliques aromatiques présents dans la suie, le goudron, la poix, la fumée ou les poussières de la houille » dans la liste des procédés considérés comme cancérogènes au sens de l'article R. 4412-60 du Code du travail.</p>

<b>goudron de houille</b>	Cancérogène connu pour l'Homme (NTP)	RoC (NTP 1980)	Les travaux comportant la manipulation et l'emploi des goudrons, huiles et brais de houille, exposant habituellement au contact cutané avec les produits précités figurent dans le tableau des maladies professionnelles 16 bis du régime général et 35 bis du régime agricole pour les épithéliomas primitifs de la peau et le cancer bronchopulmonaire.
<b>Travaux exposant aux créosotes</b>	2A (CIRC)	Vol. 92 (IARC 2010)	<p>Les créosotes (CAS : 8001-58-9) sont classés comme cancérogènes de catégorie 1B selon le règlement CLP (substance dont le potentiel cancérogène est supposé pour l'être humain).</p> <p>Par ailleurs, les travaux comportant la manipulation et l'emploi des goudrons, huiles et brais de houille, exposant habituellement au contact cutané avec les produits précités figurent dans le tableau des maladies professionnelles 16 bis du régime général et 35 bis du régime agricole pour les épithéliomas primitifs de la peau.</p> <p>Les travaux exposant aux créosotes étant des travaux exposant à des substances classées cancérogènes de catégorie 1B dans le cadre du règlement CLP, les experts ne jugent pas nécessaire de procéder à une expertise de la cancérogénicité au titre d'un procédé, celle-ci étant déjà gérée par la classification au travers de la réglementation CLP des substances mises en œuvre.</p>
<b>Travaux exposant aux émissions de moteurs diesel</b>	1 (CIRC)	Vol. 105 (IARC 2014)	L'arrêté français fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes, a classé les « travaux exposant aux émissions d'échappement de moteurs Diesel » dans la liste des procédés considérés comme cancérogènes au sens de l'article R. 4412-60 du Code du travail.

\* La référence documentaire correspond à la monographie la plus récente du CIRC.



En conclusion, à l'issue de cette étape, les procédés et travaux exposant aux HAP identifiés comme pertinents à expertiser dans le cadre de cette saisine figurent dans le tableau 9.

Tableau 9 : Travaux exposant aux HAP retenus par le groupe d'experts

Procédés ou travaux	Classification du CIRC* (groupe)	Référence documentaire**
Expositions aux bitumes oxydés et à leurs émissions lors de travaux d'étanchéité de toitures	2A	Vol. 103 (IARC 2013)
Travaux exposant aux émissions de friture à hautes températures	2A	Vol. 95 (IARC 2010)
Travaux exposant aux huiles de schiste	1	Vol. 100F (IARC 2012)
Travaux exposant aux huiles minérales, non traitées ou légèrement traitées	1	Vol. 100F (IARC 2012)

\* Dans la mesure où tous les procédés ou travaux identifiés disposent d'une classification CIRC, en application des recommandations du guide méthodologique (Anses 2023), seule celle-ci est mentionnée dans le tableau de synthèse.

\*\* La référence documentaire correspond à la monographie la plus récente du CIRC.

## 2.3.2 Priorisation des procédés et travaux exposant aux HAP retenus

Les experts ont décidé de classer par ordre de priorité les 4 procédés ou travaux exposant aux HAP, en utilisant une méthode mathématique combinatoire de facteurs, la méthode SIRIS (système d'intégration des risques par interaction des scores). L'un des intérêts de la méthode SIRIS est de permettre de retenir à la fois des critères qualitatifs et quantitatifs.

### 2.3.2.1 Description de la méthode de hiérarchisation SIRIS

La méthode SIRIS est une méthode mathématique multi-critères d'aide à la décision développée dans les années 80 (Jouany et al. 1983).

Cette méthode formalise les différentes étapes d'une démarche logique devant conduire à une décision prise à partir de données portant sur un certain nombre de critères de choix pouvant être qualitatifs ou quantitatifs (Anses 2013b). Il s'agit d'une méthode également dite de déclassement car le calcul des pénalités se fait en partant d'une situation idéale, ayant alors un score nul, pour ensuite déclasser les substances en fonction des critères apparaissant de plus en plus défavorables, donc les pénalisant de plus en plus lourdement.

Préalablement à son application pratique, la méthode nécessite une démarche basée sur trois étapes préparatoires primordiales qui sont :

- une sélection des critères à prendre en compte,
- une hiérarchisation des critères entre eux dans l'ordre d'importance en fonction de l'objectif recherché,
- une définition des niveaux pour chaque critère.

A partir du moment où ces étapes initiales sont définies par l'utilisateur, la méthode SIRIS peut alors être appliquée pour aboutir au calcul du score pour chacune des situations considérées et permettre leur classement en fonction de l'objectif défini.

La grille des pénalités est élaborée à partir des critères et des niveaux selon 4 règles (Pierre et Colmar 2009) :

1. règle d'initialisation : la pénalité attribuée aux niveaux « non défavorables » des différents critères est nulle,
2. règle d'interaction : plus le niveau d'un critère est défavorable plus la pénalité sera importante,
3. règle de préférence : les pénalités plus importantes sont attribuées aux différents niveaux d'un critère jugé, par les experts, comme ayant une responsabilité plus importante dans l'apparition du risque,
4. règle de dissymétrie : la pénalité attribuée à un niveau intermédiaire, c'est-à-dire un niveau d'un critère qui ne serait ni la plus défavorable ni la moins défavorable, correspond à la pénalité attribuée au niveau supérieur (plus défavorable) divisée par 2.

La somme des pénalités de chaque critère permet d'attribuer un score à chaque situation permettant de classer les différentes situations possibles. Le classement met en évidence la situation la plus défavorable qui aura obtenu les pénalités les plus importantes pour chacun des critères.

### 2.3.2.2 Application de la méthode de priorisation SIRIS

#### ❖ Choix des critères à prendre en compte pour la hiérarchisation

Les experts ont identifié 2 critères pouvant influencer la hiérarchisation des procédés ou travaux exposant aux HAP à expertiser en vue d'une inclusion dans l'arrêté français fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes et dont les données sont disponibles ou accessibles.

Le premier critère retenu par les experts est le nombre de travailleurs potentiellement exposés en France. Au regard de la difficulté à collecter des données estimant le nombre de travailleurs potentiellement exposés par la mise en œuvre du procédé ou des travaux identifiés, les experts ont décidé d'utiliser le nombre de travailleurs des secteurs d'activités susceptibles de mettre en œuvre le procédé pour estimer le nombre potentiel de travailleurs exposés.

Le deuxième critère retenu est la classification cancérogène du procédé considéré.

#### ❖ Hiérarchisation des critères

Les experts ont décidé d'accorder plus d'importance au critère « nombre de travailleurs potentiellement exposés » qu'au critère « classification cancérogène » pour la hiérarchisation des procédés. En effet, l'amplitude des variations du nombre d'individus professionnellement exposés peut être très importante d'un procédé à l'autre, alors que le nombre de niveaux du critère « classification cancérogène » est réduit. En outre, les implications sanitaires résultant du fait que la cancérogénicité soit avérée ou probable sont peu différentes.

❖ Définition des niveaux de chaque critère

- critère « nombre de travailleurs potentiellement exposés »

Les experts ont déterminé que 5 niveaux étaient nécessaires pour obtenir une priorisation discriminante (Tableau 10).

- critère « classification cancérogène »

En application de la méthodologie de l'Anses relative à l'identification d'un procédé comme cancérogène (Anses 2023), les procédés classés dans les groupes 1 ou 2A du CIRC ont été considérés d'emblée comme remplissant les critères retenus permettant d'identifier un procédé comme cancérogène à expertiser en vue d'une inclusion dans l'arrêté. Par ailleurs, en l'absence de classification du CIRC, les procédés classés, dans le groupe 1A ou 1B par le DECOS et/ou dans le groupe des « agents cancérogènes connus pour l'Homme » du NTP, doivent faire l'objet d'une évaluation au cas par cas dans le but de déterminer si le classement proposé est assimilable à une catégorie 1A ou 1B du règlement CLP. Ces procédés sont donc à expertiser en vue d'une inclusion ou non dans l'arrêté fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes. Ainsi, dans le cadre de la priorisation des procédés par la méthode SIRIS, le critère « classification cancérogène » a été divisé en 3 niveaux (Tableau 10).

**Tableau 10 : Présentation de la grille des niveaux attribués aux deux critères retenus pour l'application de la méthode de priorisation SIRIS**

<b>Critère 1 : nombre de travailleurs potentiellement exposés</b>	<b>Niveau</b>	<b>Critère 2 : classification cancérogène</b>	<b>Niveau</b>
1. Plus de 1 000 000 travailleurs	T	1. Procédés classés dans le groupe 1 par le CIRC	d
2. Entre 100 000 et 1 000 000	D	2. Procédés classés dans le groupe 2A par le CIRC	m
3. Entre 10 000 et 100 000 travailleurs	M	3. Procédés classés 1A ou 1B par le DECOS et/ou "Known to be human carcinogen" par le NTP	o
4. Entre 1 000 et 10 000 travailleurs	E		
5. Moins de 1 000 travailleurs	O		

Niveaux : T : très pénalisant ; D et d : pénalisant ; M et m : moyennement pénalisant ; E : légèrement pénalisant ; O et o : non pénalisant.

❖ Choix des pénalités

Une fois les critères sélectionnés, hiérarchisés et les niveaux des différents critères établis, la grille des pénalités a pu être déterminée conformément aux règles de pénalisation de la méthode SIRIS décrites dans la partie 3.1 Méthode de priorisation SIRIS (Tableau 11).

Les procédés et travaux impliquant des effectifs importants de travailleurs disposent d'une cotation plus pénalisante et seront donc prioritaires dans la liste hiérarchisée.

En application de la méthodologie de l'Anses relative à l'identification d'un procédé comme cancérogène (Anses 2023), les classifications du CIRC sont jugées plus pénalisantes que celles du DECOS et du NTP puisque le CIRC est un organisme mondialement reconnu pour ses expertises en terme de cancérogénicité. Enfin, compte tenu des niveaux de preuve de cancers chez l'Homme, le groupe 1 du CIRC justifie une cotation plus pénalisante que le groupe 2A du CIRC.

**Tableau 11 : Grille des pénalités attribuées aux différents niveaux pour l'application de la méthode de priorisation SIRIS**

Nombre de travailleurs potentiellement exposés	Classification cancérogène	Score
O = 0	o = 0	0
	m = 0,5	0,5
	d = 1	1
E = 1,5	o = 0	1,5
	m = 1	2,5
	d = 2	3,5
M = 3	o = 0	3
	m = 1,5	4,5
	d = 3	6
D = 4,5	o = 0	4,5
	m = 2	6,5
	d = 4	8,5
T = 6	o = 0	6
	m = 2,5	8,5
	d = 5	11

Niveaux : T : très pénalisant ; D et d : pénalisant ; M et m : moyennement pénalisant ; E : légèrement pénalisant ; O et o : non pénalisant.

### 2.3.3 Documentation des critères « nombre de travailleurs potentiellement exposés » et « classification cancérogène »

#### 2.3.3.1 Documentation du critère « nombre de travailleurs potentiellement exposés »

##### 2.3.3.1.1 *Travaux exposant aux huiles de schiste*

Les huiles de schiste sont issues du traitement thermique du schiste bitumineux. Le schiste bitumineux est une roche sédimentaire contenant principalement des composants minéraux et de la matière organique appelée kérogène, qui a une faible solubilité dans les solvants organiques à bas point d'ébullition, mais qui conduit à des produits organiques liquides (huiles)

lors de sa décomposition thermique. Les huiles de schiste diffèrent principalement du pétrole brut en ce qu'elles contiennent des concentrations plus élevées de composés organiques azotés et d'arsenic (IARC 1985).

Bien que les huiles de schiste ne soient plus extraites en France, des quantités très variables d'huiles de schiste et d'huiles extraites des sables bitumineux sont importées (Annexe 4). Les importations présentées dans le tableau 12 ne permettent pas de distinguer si les quantités importées sont en transit ou sont destinées à une utilisation en France.

**Tableau 12 : Echanges mensuels de schistes et sables bitumineux en France entre novembre 2021 et novembre 2022<sup>21</sup>**

Mois	Masse de schistes et de sables bitumeux échangée en France (en tonnes)	
	Exportations	Importations
Novembre 2021	0	56
Décembre 2021	2	54
Janvier 2022	2	87
Février 2022	4	85
Mars 2022	6	69
Avril 2022	8	15 985
Mai 2022	4	107
Juin 2022	2	15 829
Juillet 2022	1	11 906
Août 2022	2	103
Septembre 2022	0	6 997
Octobre 2022	2	9 989
Novembre 2022	2	8 301

Des recherches sur internet concernant l'utilisation des huiles de schiste en France, ainsi qu'une demande d'informations adressée à l'IFPEN (Institut français du pétrole Energies nouvelles), restée sans réponse, ont été effectuées. Celles-ci n'ont pas permis de documenter les tonnages mis en œuvre, les secteurs d'activité concernés et les procédés utilisant des huiles de schiste en France.

Pour conclure, aucune donnée n'est disponible concernant le nombre de salariés travaillant avec des huiles de schiste en France.

<sup>21</sup> [Le chiffre du commerce extérieur - Données en NC8 - Résultats annuels et mensuels \(finances.gouv.fr\)](https://finances.gouv.fr), consulté en février 2023.

L'extraction des huiles de schiste étant interdite en France<sup>22</sup>, les experts font l'hypothèse que le nombre de travailleurs exposés est faible et estiment à moins de 1 000 le nombre de travailleurs exposés aux huiles de schiste en France.

### 2.3.3.1.2 Travaux exposant aux huiles minérales, non traitées ou légèrement traitées

Le CIRC regroupe sous le terme générique d'« huiles minérales » les liquides dérivés du pétrole ayant une « viscosité semblable à celle de l'huile » destinés à la lubrification, à l'usinage ou utilisés comme fluide hydraulique (IARC 2012).

Les huiles minérales sont issues de la distillation atmosphérique et sous vide (à des températures comprises entre ~300°C et ~700°C) du pétrole brut<sup>23</sup>. Des traitements supplémentaires comme l'extraction par solvant ou l'hydrotraitement catalytique peuvent ensuite permettre de limiter la teneur de ces huiles en impuretés, incluant les HAP et de réduire leur potentiel cancérogène (INRS 2012). Par exemple, grâce à ces procédés, la concentration en benzo[a]pyrène est réduite au µg/kg. Ces huiles sont alors appelées « huiles minérales raffinées » ou « huiles hautement raffinées » ou encore « huiles sévèrement raffinées ». Les composés aromatiques restant présents dans les huiles minérales raffinées sont principalement des hydrocarbures aromatiques hautement alkylés, à 1 ou 2 cycles<sup>23</sup>.

Les propriétés physico-chimiques et la composition chimique des huiles varient selon la nature des différents traitements que les huiles subissent tout au long de leur raffinage. Il n'existe donc pas de formule chimique unique pour décrire les huiles minérales<sup>23</sup>. Cependant, la monographie 33 du CIRC propose un classement des huiles minérales en 8 classes selon la sévérité croissante du traitement ou du raffinage (Tableau 13, (IARC 1984)).

**Tableau 13 : Classification des différentes huiles minérales raffinées selon le CIRC (IARC 1984)**

<b>Classe 1.</b>	Distillats sous vide Ils peuvent avoir subi des étapes de finition ultérieures, telles que la neutralisation basique, le déparaffinage, le traitement à l'argile et/ou un hydrotraitement léger. Ils n'ont pas été traités à l'acide ni extraits au solvant.
<b>Classe 2.</b>	Huiles traitées à l'acide Elles peuvent avoir subi des étapes de finitions ultérieures, telles que la neutralisation basique, le déparaffinage, le traitement à l'argile et/ou un hydrotraitement léger. Elles n'ont pas été extraites au solvant.
<b>Classe 3.</b>	Huiles raffinées au solvant (raffinats) Elles peuvent avoir subi des étapes de finitions ultérieures, telles que le déparaffinage, le traitement à l'argile et/ou un hydrotraitement léger.
<b>Classe 4.</b>	Huiles hydrotraitées
<b>Classe 5.</b>	Huiles blanches et paraffines à usages alimentaire et/ou médical

<sup>22</sup> [LOI n° 2011-835 du 13 juillet 2011 visant à interdire l'exploration et l'exploitation des mines d'hydrocarbures liquides ou gazeux par fracturation hydraulique et à abroger les permis exclusifs de recherches comportant des projets ayant recours à cette technique \(1\) - Légifrance \(legifrance.gouv.fr\)](#), consulté en février 2023.

<sup>23</sup> <https://www.concawe.eu/wp-content/uploads/mineral-oils-are-safe-for-human-health.pdf>, consulté en février 2023.

<b>Classe 6.</b>	Huiles aromatiques	
	Classe 6.1	Extraits de solvants
	Classe 6.2	Huiles obtenues par craquage catalytique
<b>Classe 7.</b>	Matières diverses	
	Classe 7.1	Produits formulés
	Classe 7.2	Huiles usées
<b>Classe 8.</b>	Matières dérivées du pétrole non classées ailleurs (description insuffisante pour permettre une affectation à d'autres classes)	

L'absence de données concernant le nombre de travailleurs exposés aux huiles minérales, non ou légèrement traitées ne permet pas l'application de la méthodologie SIRIS sur ces travaux. Par ailleurs, les huiles minérales destinées à la lubrification, à l'usinage ou utilisées comme fluide hydraulique sont désormais sévèrement raffinées selon le CIRC (IARC 2012). Par conséquent, le nombre de travailleurs exposés aux huiles minérales, non ou légèrement traitées est vraisemblablement faible.

#### 2.3.3.1.3 Expositions aux bitumes oxydés et à leurs émissions lors de travaux d'étanchéité de toitures

Les bitumes sont des mélanges d'hydrocarbures issus de la distillation du pétrole. Leurs compositions chimiques varient en fonction du pétrole utilisé pour leur obtention. À température ambiante, il s'agit de solides inertes, mais une fois chauffés, ils se ramollissent pour devenir des liquides visqueux et adhésifs. Ils sont principalement choisis pour leurs propriétés de déformation, leurs propriétés adhésives, leur résistance dans le temps et leur stabilité aux températures ambiantes. Les bitumes sont également définis selon leur grade (évolution de la viscosité en fonction de la température). En France, les bitumes les plus utilisés sont les bitumes de grade 35/50 et 50/70 (NF EN 12591).

Les bitumes oxydés sont utilisés pour les toitures et autres surfaces, afin de les rendre imperméables ou étanches. Ils se présentent soit sous la forme de pains de bitume que l'on fond dans des fours rotatifs, soit sous forme de bandes bitumineuses fabriquées en usine et collées à chaud sur site avec un chalumeau. Les bitumes oxydés sont obtenus par adjonction d'huiles de fluxage et insufflage d'air à haute pression<sup>24</sup>. Les huiles de fluxage sont issues de coupes de distillation du goudron plus ou moins lourdes (distillats allant de 200 à 350 °C) et comprenant les huiles dites « acénaphéniques », « anthracéniques » et « chryséniques » utilisées seules ou en mélange. Les huiles de fluxage, longtemps d'origine carbochimique (coupes de distillation de goudron de houille), sont actuellement pétrolières (distillats éventuellement hydrotraités), pétrochimiques (résidus de vapocraquage redistillés) ou agrochimiques (huiles végétales ou synthétiques) (Anses 2013a).

Le rapport de l'Anses relatif à l'évaluation des risques sanitaires liés à l'utilisation professionnelle des produits bitumineux et de leurs additifs (Anses 2013a) publié en

<sup>24</sup> [INRS.fr - Le bitume : de quoi parle-t-on ?](https://www.inrs.fr/fr/le-bitume-de-quoi-parle-t-on), consulté en février 2023.

septembre 2013, après la parution de la monographie 103 du CIRC, a conclu que : « l'évolution des pratiques professionnelles qui tend à diminuer la température d'application des produits bitumineux permettrait de réduire l'exposition des salariés lors de l'application de ces produits en limitant la génération d'émissions. Néanmoins, ces diminutions d'exposition ne peuvent être corrélées directement avec une réduction du risque encouru par les salariés puisque, pour compenser une partie des effets de cette baisse de température sur la maniabilité, plusieurs procédés de fabrication innovants ont été développés par les industriels, notamment l'incorporation d'agents plastifiants (additifs organiques fluidifiants) ou le moussage. Or, les impacts potentiels sur la composition des émissions générées et sur l'intensité de transfert percutané en cas de contact, donc sur la santé des travailleurs, ne sont pas connus ». Le rapport indique également que, selon une audition de la chambre syndicale française de l'étanchéité en 2012, 7 000 à 8 000 personnes actives du secteur de l'étanchéité des toitures et des terrasses seraient concernées par une exposition aux produits d'étanchéité à base de bitumes (sans forcément les manipuler) avec une exposition potentielle à leurs fumées pendant le temps de soudage (au maximum 30 % du temps de travail).

La CNAM publie chaque année des fiches de synthèse recensant le nombre de salariés de la branche d'activité et les données statistiques concernant les accidents du travail, les accidents de trajet et les maladies professionnelles pour chaque code NAF<sup>25</sup>. D'après la fiche de synthèse des travaux d'étanchéification (code NAF 4399A), en 2021 la CNAM a recensé 22 754 salariés d'entreprises réalisant des travaux d'étanchéification.

Les experts ont fait le choix de retenir, pour l'application de la méthode SIRIS, l'estimation de la CNAM au regard du caractère majorant et plus récent des données.

#### 2.3.3.1.4 Travaux exposant aux émissions de friture à hautes températures

Le CIRC regroupe sous le terme "friture à hautes températures" le sauté à la poêle (stir-frying), la friture à la poêle (pan frying) et la friture profonde (deep frying) (IARC 2010a) (voir chapitre 3 pour plus de détails).

D'après le « Fichier localisé des rémunérations et de l'emploi salarié » (Flores<sup>26</sup>) de l'institut national de la statistique et des études économiques (Insee), décrivant l'état du marché du travail selon les secteurs d'activité, fin 2021, le secteur de la restauration employait 839 221 salariés et l'industrie alimentaire 572 345 salariés. Le nombre de travailleurs potentiellement exposés aux émissions de friture à hautes températures s'élèverait à 1 411 566.

---

<sup>25</sup> Le code NAF (Nomenclature d'activités française) est un code qui se compose de quatre chiffres et d'une lettre. Il permet d'identifier la branche d'activité principale de l'entreprise employant le salarié. Le code est principalement utilisé en statistique. ([Entrepreneur.service-public.fr](http://Entrepreneur.service-public.fr) - A quoi correspond le code APE (code NAF) ? , consulté le en octobre 2023.

<sup>26</sup> Flores est un ensemble de fichiers de micro-données qui décrivent l'emploi salarié et les rémunérations au niveau des établissements. L'objectif principal est de servir de base à des études nationales ou locales, pour décrire le tissu économique d'un territoire donné jusqu'au niveau de la commune. Il couvre l'ensemble de l'emploi salarié, quels que soient le secteur d'activité et le type d'employeur (public ou privé, y compris les particuliers employeurs) : [Insee.fr](http://Insee.fr) - Flores, consulté en janvier 2023.



### 2.3.3.2 Documentation du critère « classification cancérigène »

Les données du critère « classification cancérigène » issues des classifications de cancérigénicité des 4 procédés ou travaux retenus établies par le CIRC sont décrites dans le tableau 9.

#### 2.3.3.2.1 *Travaux exposant aux huiles de schiste*

Sur la base de preuves suffisantes chez l'Homme pour le cancer de la peau (au niveau du scrotum) et de preuves suffisantes chez l'animal, le CIRC a conclu en 2012 que les huiles de schiste sont cancérigènes pour l'Homme (groupe 1) (IARC 2012).

#### 2.3.3.2.2 *Travaux exposant aux huiles minérales, non traitées ou légèrement traitées*

Le CIRC a classé comme cancérigènes pour l'Homme (groupe 1) les huiles minérales non traitées ou légèrement traitées, c'est-à-dire des huiles n'ayant subi aucun traitement visant à réduire la quantité d'impuretés dont font partie les HAP (IARC 2012). L'exposition répétée par voie cutanée à ces huiles a été associée à un excès de risque de carcinomes cutanés, en particulier au niveau du scrotum.

En dehors des huiles minérales non ou légèrement traitées, des preuves de cancérigénicité sur l'animal sont aussi disponibles pour certaines classes d'huiles minérales, notamment les huiles de moteurs usagées (IARC 2012). Par ailleurs, l'arrêté du 26 octobre 2020 a, dans le cadre de la transposition de la directive (UE) 2019/130 du Parlement européen et du Conseil du 19 juin 2019<sup>27</sup>, ajouté à la liste des travaux et procédés cancérigènes, les travaux entraînant une exposition cutanée à des huiles minérales qui ont été précédemment utilisées dans des moteurs à combustion interne, pour lubrifier et refroidir les pièces de ces moteurs.

Malgré leur teneur potentiellement élevée en HAP, liée aux contraintes thermiques subies lors de leur utilisation, la cancérigénicité des autres huiles usagées et des huiles régénérées n'a pas été évaluée par le CIRC (Encadré 1).

#### **Encadré 1**

##### **Huiles minérales usagées et huiles régénérées**

###### Huiles minérales usagées

Selon la directive européenne n° 75/439/CEE<sup>28</sup> du 16 juin 1975, sont considérées comme huiles usagées « toutes les huiles industrielles ou lubrifiantes à base minérale, qui sont devenues impropres à l'usage auquel elles étaient initialement destinées et notamment, les huiles usagées des moteurs thermiques et des systèmes de transmission, ainsi que les huiles minérales lubrifiantes, les huiles pour turbines et celles pour systèmes hydrauliques ». Au cours de leurs utilisations, ces huiles subissent de fortes contraintes thermiques, propices à la formation d'HAP. A titre d'exemple, les températures favorables à la formation du benzo[a]pyrène se situent entre 600 et 800°C (INRS 2012). L'importance de l'augmentation de la teneur en HAP des lubrifiants d'origine pétrolière en cours d'utilisation varie selon le type

<sup>27</sup> Il s'agit de la directive la directive 2019/130 du Parlement européen et du Conseil du 16 janvier 2019 portant modification de la directive 2004/37/CE concernant la protection des travailleurs contre les risques liés à l'exposition à des agents cancérigènes ou mutagènes au travail.

<sup>28</sup> Il s'agit de la directive 75/439/CEE du conseil du 16 juin 1975 concernant l'élimination des huiles usagées, abrogée.

d'application : la teneur en HAP pourra être multipliée par un facteur inférieur ou égal à 10 pour les huiles de coupe et les huiles pour moteurs diesel et par un facteur égal ou supérieur à 100 pour les huiles de trempage et les huiles pour moteurs à essence (INRS 2012).

Plusieurs voies de valorisation existent pour ces huiles ;

- la valorisation thermique : moins coûteuse, utilisée notamment en cimenterie ;
- la régénération : privilégiée par le code de l'environnement (article L541-38).

#### Huiles régénérées

La directive européenne du 75/439/CEE définit la régénération comme « tout procédé permettant de produire des huiles de base par un raffinage d'huiles usagées impliquant notamment la séparation des contaminants, produits d'oxydation et additifs que ces huiles contiennent ». Les huiles obtenues par régénération d'huiles minérales usagées via divers traitements industriels peuvent être commercialisées en tant qu'huiles de base (avant formulation) au même titre qu'une huile de base neuve issue du raffinage d'un brut pétrolier. Si, après formulation, les performances techniques de ces deux types d'huiles sont comparables, des questions peuvent se poser sur les risques liés à l'utilisation des huiles régénérées. Ainsi, une étude de l'INRS a montré que les teneurs en benzo[a]pyrène des huiles régénérées sont très variables et dépendent essentiellement du procédé de traitement (existence ou non d'un raffinage sévère).

Pour le moment, aucune méthode d'évaluation du risque cancérogène des huiles minérales imposée par la réglementation européenne (IP346 ou DMSO/UV) n'est pertinente pour les huiles régénérées (Champmartin 2012) puisqu'aucune de ces deux méthodes n'est capable de différencier une huile régénérée non chargée en benzo[a]pyrène d'une huile chargée en benzo[a]pyrène. Par ailleurs, les données épidémiologiques et expérimentales disponibles ne permettent pas l'évaluation de la cancérogénicité des huiles usagées ou régénérées, à l'exception des huiles pour moteurs usagées. Des données expérimentales ont permis au CIRC d'évaluer les huiles pour moteurs usagées comme probablement cancérogènes chez l'animal (IARC 2012). Les « travaux entraînant une exposition cutanée à des huiles minérales qui ont été auparavant utilisées dans des moteurs à combustion interne pour lubrifier et refroidir les pièces mobiles du moteur » ont été classés comme cancérogènes par la directive 2019/130 du parlement<sup>29</sup> et intégrés à l'arrêté français fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes par transposition. Par ailleurs, ces travaux font aussi partie du tableau des maladies professionnelles n°36 du régime général pour les épithéliomas primitifs de la peau.

#### *2.3.3.2.3 Expositions aux bitumes oxydés et à leurs émissions lors de travaux d'étanchéité de toitures*

Sur la base de preuves limitées chez l'Homme, le CIRC a conclu en 2013 que les expositions professionnelles aux bitumes oxydés et à leurs émissions lors de travaux d'étanchéité de toitures sont probablement cancérogènes pour l'Homme (groupe 2A) (IARC 2013).

<sup>29</sup> Il s'agit de la directive 2019/130 du Parlement européen et du Conseil du 16 janvier 2019 portant modification de la directive 2004/37/CE concernant la protection des travailleurs contre les risques liés à l'exposition à des agents cancérigènes ou mutagènes au travail.

#### 2.3.3.2.4 Travaux exposant aux émissions de friture à hautes températures

Sur la base de preuves limitées chez l'Homme et de preuves suffisantes chez l'animal, le CIRC a conclu en 2010 que les émissions provenant de friture à hautes températures sont probablement cancérigènes pour l'Homme (groupe 2A) (IARC 2010a).

### 2.3.4 Résultats de la hiérarchisation

L'application de la méthodologie SIRIS a permis de classer les 4 procédés ou travaux exposant aux HAP retenus en fonction du score obtenu (Annexe 3) (Tableau 14).

**Tableau 14 : Résultats de la hiérarchisation des 4 procédés exposant aux HAP retenus par le groupe d'experts après application de la méthode SIRIS**

Procédés ou travaux	Nombre de travailleurs potentiellement exposés	Classification cancérigène (date de la monographie du CIRC la plus récente)*	Score
Travaux exposant aux émissions de friture à hautes températures	Plus de 1 000 000 travailleurs	Groupe 2A (2010)	8,5
Expositions aux bitumes oxydés et à leurs émissions lors de travaux d'étanchéité de toitures	Entre 10 000 et 100 000 travailleurs	Groupe 2A (2013)	4,5
Travaux exposant aux huiles de schiste	Moins de 1 000 travailleurs	Groupe 2A (2012)	1
Travaux exposant aux huiles minérales, non traitées ou légèrement traitées	Aucune donnée disponible	Groupe 1 (2012)	Non évaluable

\* Dans la mesure où tous les procédés identifiés disposent d'une classification CIRC, seule cette dernière est mentionnée dans le tableau de synthèse.

Dans la mesure où le calendrier de traitement de cette saisine permettait l'expertise de la cancérigénicité d'un seul procédé, les experts ont décidé d'expertiser le procédé ayant obtenu le score le plus élevé lors de la hiérarchisation. Ainsi, seuls les travaux exposant aux émissions de friture à hautes températures, ayant obtenu un score de 8,5, sont expertisés dans la suite de ce rapport. Les trois autres procédés ou travaux exposant aux HAP ont été pris en compte dans le cadre des travaux relatifs à l'établissement d'une liste hiérarchisée de procédés à expertiser pour une éventuelle inclusion dans l'arrêté français fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérigènes (Anses 2024).

## 3 Procédé retenu dans le cadre de cette expertise

### 3.1 Travaux exposant aux émissions de friture à hautes températures

#### 3.1.1 Description et définition du périmètre du procédé

La friture est un procédé consistant à cuire une denrée alimentaire dans un corps gras chauffé (de 130 à 180°C) (Adrian, Potus, et Frangne 1995). Dans la monographie 95 du CIRC la friture à hautes températures désigne les modes de cuisson suivants (IARC 2010a) :

- **le sauté à la poêle (stir-frying)**

Il s'agit d'une méthode de friture dite plate c'est-à-dire de courte durée dont la matière grasse est à usage unique (Adrian, Potus, et Frangne 1995). Le sauté à la poêle consiste en une préparation rapide des aliments par transfert de chaleur de la surface chaude d'une poêle aux aliments, en utilisant une petite quantité d'huile de cuisson (Van Esterik 2008). Cette méthode est de plus en plus répandue dans le monde.

- **la friture à la poêle (pan frying)**

Il s'agit d'une méthode de friture plate proche du sauté à la poêle, mais utilisant une plus grande quantité de matière grasse, pendant une durée plus longue, sans remuer ni retourner (Gisslen 2010).

- **la friture profonde (deep frying)**

La friture profonde peut être définie comme une cuisson par immersion dans un bain d'huile ou de matière grasse comestible à une température au-dessus du point d'ébullition de l'eau. Le bain d'huile peut être utilisé à plusieurs reprises (Adrian, Potus, et Frangne 1995). C'est un procédé rapide de transfert simultané de chaleur et de matière. Il peut être utilisé comme une opération de séchage (Courtois et al. 2012).

Ces trois modes de friture impliquent de chauffer la matière grasse à des températures élevées. Elles sont pratiquées dans le monde entier (Straif et al. 2006).

Lors de la friture, l'augmentation de la température favorise des transformations physiques ou biochimiques de l'aliment et de la matière grasse qui dépendent notamment des modalités de la cuisson et de la nature de la matière grasse (Figure 1) (Adrian, Potus, et Frangne 1995). Les échanges entre la matière grasse et l'aliment sont souvent importants. L'aliment absorbe une quantité appréciable de lipides (par exemple, les frites renferment 10 à 15% d'huile), tandis que les éléments liposolubles contenus dans l'aliment tendent à se solubiliser dans la matière grasse de la friture. Comme le procédé fait appel à des températures élevées, les protéines et d'autres constituants s'insolubilisent rapidement et forment un écran qui s'oppose néanmoins aux échanges avec l'extérieur, comme dans le cas des grillades.

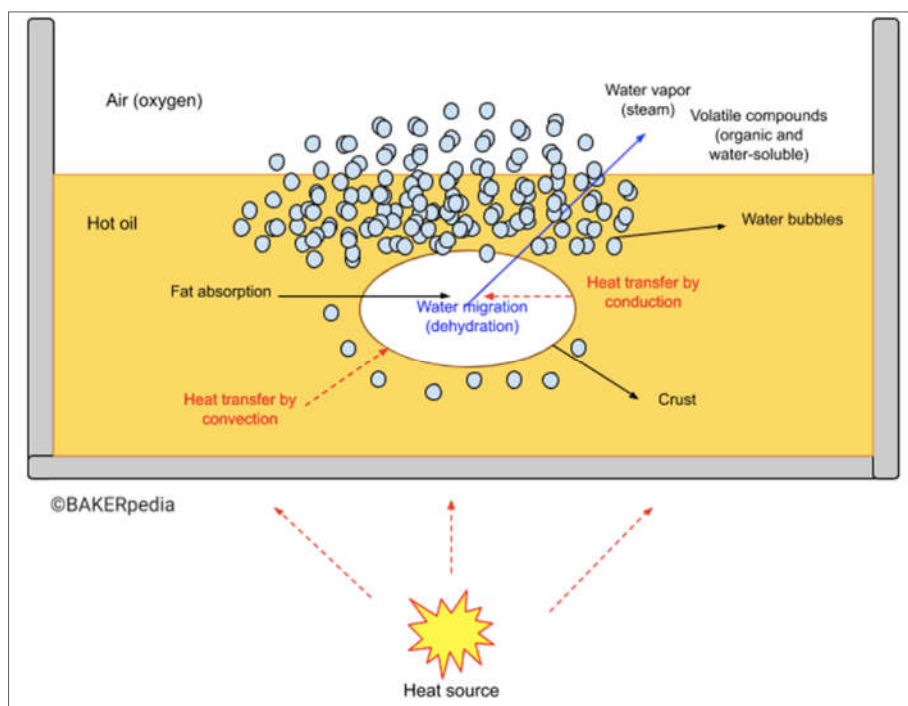


Figure 1 : Procédé de friture<sup>30</sup>

Au fur et à mesure de leurs utilisations et des transformations physiques et chimiques, les huiles et les graisses vont se charger en composés polaires et en polymères de triglycérides, impactant leur qualité (Encadré 2). Les procédés de friture aboutissent à la production d'une huile usagée riche en impuretés (eau, composés polaires, polymères de triglycérides, résidus alimentaires, etc.) (Adrian, Potus, et Frangne 1995). Les huiles alimentaires usagées (HAU) sont considérées comme des déchets non dangereux<sup>31</sup> et peuvent être collectées pour être valorisées (Encadré 3).

## Encadré 2

### Réglementation sur la qualité des huiles de friture utilisées

Les huiles et matières grasses végétales sont soumises à des réglementations nationales et européennes encadrant leur composition. Le décret n° 2008-184 du 26 février 2008<sup>32</sup> portant application du Code de la consommation en ce qui concerne les graisses et huiles comestibles, définit les graisses et huiles impropres à la consommation humaine comme celles dont les teneurs en composés polaires ou en polymères de triglycérides (potentiellement toxiques) sont supérieures respectivement à 25 % et 14 %. Par ailleurs, le règlement n°1881/2006<sup>33</sup> relatif aux teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires fixe à 2,0 µg/kg la teneur en benzo[a]pyrène dans les huiles et graisses mises sur le marché pour le consommateur final ou pour une utilisation comme ingrédients de denrées alimentaires et à

<sup>30</sup> [Bodytechchemsfit.com - Friture - Procédés de cuisson](http://Bodytechchemsfit.com), consulté en janvier 2024.

<sup>31</sup> [Ordeco.org - Déchets - Huiles alimentaires usagées](http://Ordeco.org), consulté en janvier 2024.

<sup>32</sup> [Légifrance - Décret n° 2008-184 du 26 février 2008 portant application du code de la consommation en ce qui concerne les graisses et huiles comestibles](http://Légifrance), consulté en janvier 2023.

<sup>33</sup> [Règlement \(UE\) 2023/915 de la commission du 25 avril 2023 concernant les teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires et abrogeant le règlement \(CE\) no 1881/2006](http://Règlement (UE) 2023/915 de la commission du 25 avril 2023 concernant les teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires et abrogeant le règlement (CE) no 1881/2006), consulté en juin 2023.

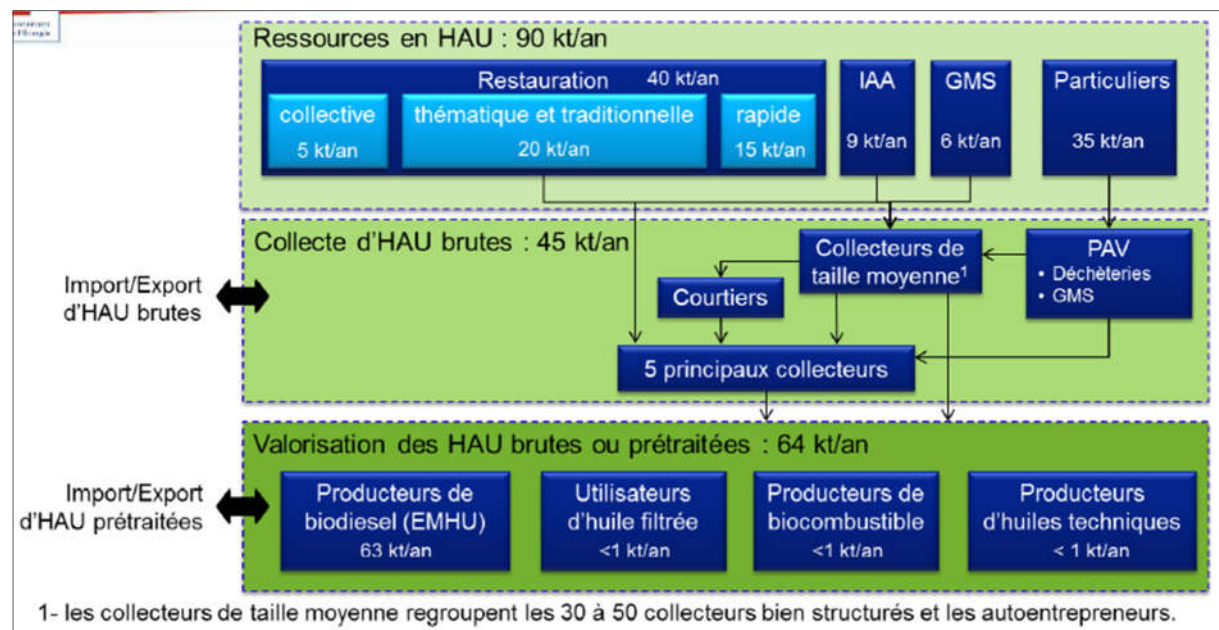
10 µg/kg la teneur de la somme des 4 HAP suivants : benzo[a]pyrène, benz[a]anthracène, benzo[b]fluoranthène et chrysène.

Lors de la friture, les huiles s'enrichissent en composés polaires (acides gras libres, mono et di-glycérides, polymères de triglycérides, acides gras oxydés, etc.). Une étude a caractérisé la relation entre les composés polaires totaux (CPT) et les HAP lors de la friture profonde de bâtonnets de pâte dans plusieurs types d'huiles (An, Liu, et Liu 2017). Les résultats indiquent que la concentration des CPT était significativement corrélée avec les concentrations de la somme des 16 HAP de l'US EPA, de 4 HAP (benzo[a]anthracène, chrysène, benzo[b]fluoranthène et benzo[a]pyrène) et de benzo[a]pyrène, de sorte que les niveaux de HAP pouvaient être prédits en fonction des niveaux de CPT mesurés dans l'huile de friture. Les résultats ont montré aussi que les niveaux de CPT et de HAP dans l'huile de friture augmentaient considérablement avec le temps de friture et que le type d'huile influençait leur formation.

### Encadré 3

#### Estimation des quantités d'huiles alimentaires usagées produites en France

Selon l'ADEME, la production d'huiles alimentaires usagées (HAU) brutes est très diffuse sur le territoire. Les producteurs français d'HAU sont répartis en quatre catégories : les particuliers, les restaurateurs, les industries agroalimentaires (IAA) et les grandes et moyennes surfaces (GMS). L'étude de FranceAgriMer et de l'ADEME estime la production annuelle d'HAU brutes entre 70 000 et 105 000 tonnes (Figure 2). Ces HAU brutes ont une teneur moyenne en eau comprise entre 10 % et 20 % (FranceAgriMer et ADEME 2015).



IAA : industrie agroalimentaire, GMS : grandes et moyennes surfaces, PAV : point d'apport volontaire, EMHU : unités de production de biocarburants

Figure 2 : Organisation de la filière de production et de valorisation des HAU en France métropolitaine en 2014 (FranceAgriMer et ADEME 2015)

Sur l'île de la Réunion, environ 260 tonnes d'HAU ont été collectées en 2014, pour une production potentielle estimée à 2 200 tonnes par an. Bien que les volumes collectés soient en augmentation en 2014, certains experts locaux estiment les ressources collectables à

environ 1 000 tonnes d'HAU. Sur les 2 200 tonnes d'HAU produites, 1 700 sont issues de producteurs diffus et difficilement collectables (FranceAgriMer et ADEME 2015).

En Guadeloupe, les quantités produites en HAU sont estimées à 500 tonnes par an. Aucune filière de collecte spécifique n'était en place en 2014 et les principaux producteurs, que sont les restaurants fast-food, utilisent par défaut la filière de collecte des déchets dangereux (FranceAgriMer et ADEME 2015).

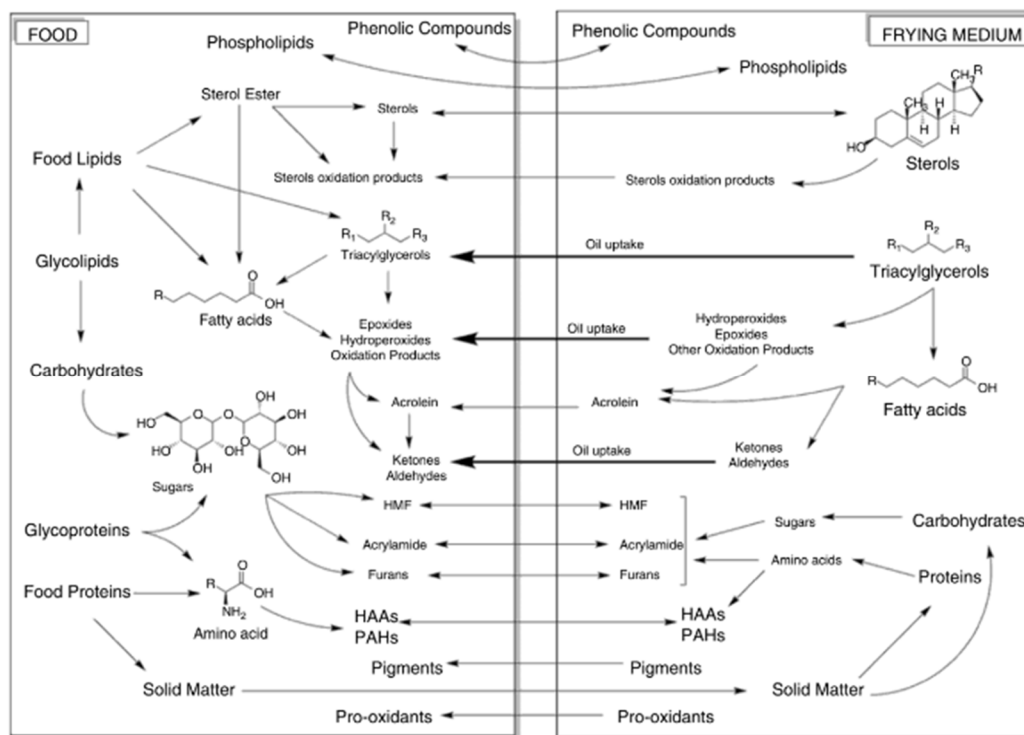
Les données relatives aux quantités d'huiles alimentaires usagées regroupent les résidus d'huiles végétales ou animales utilisées pour la friture, les huiles et graisses issues d'opérations de cuisson ainsi que les huiles et graisses issues des restes de plats chez les restaurateurs, les industries agroalimentaires (IAA) et les grandes et moyennes surfaces (GMS).

### 3.1.2 Réactions chimiques pendant la friture

Les biomolécules de l'aliment et de la matière grasse interagissent entre elles ou se transforment seules pour former de nouveaux produits (Figure 3). Les interactions peuvent être de nature physique ou chimique, elles peuvent être classées comme suit en fonction de leurs composantes :

- **interactions aliment-aliment** : les réactions chimiques au sein des composants alimentaires sont appelées interactions aliment-aliment ou interactions homogènes. Elles entraînent la formation de 5-hydroxyméthyl-2-furfural (HMF), d'acrylamide, d'amines aromatiques hétérocycliques (AAH) et d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Ces interactions n'impliquent pas le milieu de friture (huile ou graisse), mais sont plutôt causées par la chaleur fournie ;
- **interactions aliment-huile** : les interactions entre les composants alimentaires et les composants de l'huile sont appelées interactions aliments-huile ou interactions hétérogènes. Elles comprennent les réactions de brunissement causées par le milieu lipidique et la lixiviation des pigments ou des matières solides des aliments et leurs interactions ou réactions consécutives dans le milieu de friture ;
- **interactions huile-huile** : les interactions impliquant les processus d'oxydation des lipides dans le milieu de friture sont appelées interactions huile-huile. Elles comprennent la peroxydation lipidique primaire et secondaire et la formation de produits d'oxydation du cholestérol, d'acroléine, de AAH et de HAP (Zeb 2019).

Ces interactions peuvent être plus importantes dans l'un ou l'autre des composants de la friture. Par exemple, le brunissement ou les réactions de Maillard sont plus prononcés dans les interactions aliment-aliment que dans les interactions huile-huile. La peroxydation des lipides est plus importante dans le milieu de friture (huile ou graisse) que dans les aliments (Adrian, Potus, et Frangne 1995; Zeb 2019).



**Figure 3 : Représentation schématique de plusieurs interactions chimiques entre l'aliment et la matière grasse (Zeb 2019)**

Dans la friture, la matière grasse est soit une graisse fortement saturée et peu sensible à une thermodégradation, soit une huile insaturée dans laquelle les acides gras éthyléniques sont exposés à une dégradation importante. Les mécanismes de thermodégradation sont différents de ceux d'une simple oxydation intensifiée par la chaleur. L'oxydation demeure assez faible dans les bains de friture dans la mesure où la denrée alimentaire dégage de la vapeur d'eau qui forme une couche au-dessus du bain et s'oppose au contact direct de l'oxygène avec la matière grasse. En revanche, les caractères physiques et chimiques des huiles sont altérés en fonction de l'insaturation du corps gras ainsi que de l'importance et de la répétition des chauffages : la viscosité et la coloration augmentent, le point de fumée s'abaisse, etc. (Adrian, Potus, et Frangne 1995).

Les glycérides et les acides gras insaturés subissent des remaniements considérables. A températures élevées, les glycérides peuvent se dégrader et le glycérol peut être partiellement transformé en acroléine, un produit irritant caractéristique des matières grasses surchauffées. En ce qui concerne les acides gras, d'un côté surviennent des trans-isomérisations qui affectent surtout les polyinsaturés, contrairement à ce qui est observé lors de l'hydrogénation; et de l'autre, comme dans l'oxydation, une disparition massive des acides gras les plus insaturés, c'est-à-dire les acides gras essentiels, est enregistrée. La première étape est un déplacement des doubles liaisons pour créer des liaisons conjuguées. Ensuite, ces acides gras se cyclisent de diverses manières. Soit un seul acide gras se replie sur lui-même et se cyclise en formant un cycle penta- ou hexagonal, soit deux ou plusieurs acides gras réagissent entre eux en formant un cycle, parfois avec un pont oxygène si une oxydation est intervenue. On obtient alors des « monomères », des « dimères » ou des « polymères » d'acides gras, comportant un ou plusieurs cycles, des insaturations et des chaînes latérales. Des phénomènes analogues peuvent se dérouler à l'intérieur d'un triglycéride ou entre glycérides voisins (Adrian, Potus, et Frangne 1995). Les cyclisations d'acides gras peuvent relever de mécanismes plus complexes faisant intervenir des composés issus de la dégradation



thermique des protéines de l'aliment frit, en particulier ses acides aminés soufrés. C'est pourquoi, outre des cycles furaniques ou pyraniques, la formation de pyrroles, de pyridines, de thiophènes, de thiazoles, etc., est observée. Cela suppose la présence d'une interaction entre les acides gras insaturés et des éléments azotés et soufrés (Adrian, Potus, et Frangne 1995).

## 3.2 Données d'exposition

La saisine ne consiste pas à réaliser une évaluation des risques sanitaires ni à effectuer une étude d'impact d'une éventuelle évolution réglementaire pour les professionnels potentiellement exposés. La partie décrivant les expositions n'a donc pas vocation à être exhaustive.

### 3.2.1 Nature des expositions

#### 3.2.1.1 Caractérisation des différents composés émis lors de friture à hautes températures

Lors de la friture, les esters d'acides gras qui sont des constituants des huiles et des graisses alimentaires peuvent se décomposer et produire des composés organiques volatils, ainsi que des composés semi-volatils qui peuvent se condenser pour former des particules ultrafines ( $PM_{0,1}^{34}$ ) et fines ( $PM_{2,5}^{35}$ ). Une grande variété de composés organiques a été identifiée dans les émissions de cuisson, notamment des alcanes, des alcènes, des acides alcanoniques, des carbonyles, des HAP, des amines aromatiques (IARC 2010a) et de l'acrylamide (Encadré 4). A noter que la fiche d'aide au repérage de produit cancérogène n°42<sup>36</sup> (FAR 42) relative à la cuisson d'aliments dans les bains de friture recense les postes de travail susceptibles de présenter un risque cancérogène lors de la cuisson d'aliments dans des bains de friture (Encadré 4).

#### Encadré 4

##### Fiche d'aide au repérage de produit cancérogène n° 42 : cuisson d'aliments dans des bains de friture

Les fiches d'aide au repérage (FAR) listent les agents cancérogènes susceptibles d'être rencontrés à un poste de travail déterminé. Afin d'aider les entreprises, des fiches d'aide au repérage (FAR) et des fiches d'aide à la substitution (FAS) des cancérogènes sont mises à disposition par l'INRS et la CNAM. Principalement destinées aux chefs d'entreprises, chargés de prévention et médecins du travail, ces fiches sont rédigées avec l'aide des services de prévention des caisses d'assurance retraite et de la santé au travail (Carsat), de la caisse régionale d'assurance maladie d'Ile-de-France (Cramif) et des caisses générales de sécurité

<sup>34</sup> Diamètre aérodynamique inférieur à 0,1  $\mu m$  ([INERIS.fr - Qu'est-ce qu'une particule ?](https://www.ineris.fr/fr/qu-est-ce-qu-une-particule)), consulté en janvier 2024.

<sup>35</sup> Diamètre aérodynamique inférieur à 2,5  $\mu m$  ([INERIS.fr - Qu'est-ce qu'une particule ?](https://www.ineris.fr/fr/qu-est-ce-qu-une-particule)), consulté en janvier 2024.

<sup>36</sup> [INRS - Cuisson d'aliments dans des bains de friture](https://www.ineris.fr/fr/cuisson-daliments-dans-des-bains-de-friture), consulté en janvier 2024

sociale (CGSS). Elles sont mises à jour en fonction de l'évolution des connaissances toxicologiques et des techniques utilisées<sup>37</sup>.

La fiche FAR 42 relative à la cuisson d'aliments dans les bains de friture recense les postes de travail susceptibles d'être à l'origine d'une exposition à des agents cancérigènes lors de la cuisson d'aliments dans des bains de friture : cuisson, nettoyage et désinfection des équipements, récupération et stockage des huiles usagées.

Selon la FAR 42, les HAP, l'acrylamide, le formaldéhyde et l'acétaldéhyde sont des cancérigènes avérés ou suspectés<sup>38</sup> susceptibles d'être émis lors de la cuisson dans des bains de fritures. Provenant de la décomposition d'acides gras ou se formant par interaction entre les différents constituants des aliments, leur probabilité d'apparition augmente avec la température de cuisson, particulièrement à partir de 180°C.

#### ■ Emissions de particules fines et ultrafines

Wallace et *al.* ont analysé les émissions de particules ultrafines à fines lors de plusieurs sessions de cuisine au gaz (sauté à la poêle, friture profonde et cuisson au four). Les particules les plus émises avaient un diamètre aérodynamique compris entre 0,1 et 0,5 µm (Wallace, Emmerich, et Howard-Reed 2004).

Brauer et *al.* ont rapporté des concentrations de particules fines (PM<sub>2,5</sub>) entre 24 et 201 µg/m<sup>3</sup> dans les cuisines résidentielles pendant la friture d'aliments (Brauer et al. 2000).

Schauer et *al.* ont rapporté les émissions de particules fines lors de la friture d'aliments dans une friteuse industrielle. Les niveaux d'émissions de particules fines étaient de 21,5±1,2 mg par kilogramme de légumes frits pour le sauté à la poêle dans de l'huile de soja, de 29,5±1,3 mg par kilogramme de légumes frits pour le sauté à la poêle dans de l'huile de canola et de 13,1±1,2 mg par kilogramme de pommes de terre frites pour la friture profonde (Schauer et al. 1998).

#### ■ Emissions de HAP

Chiang et *al.* ont identifié quatre HAP (benzo[a]pyrène, dibenzo[a,h]anthracène, benzo[b]fluoranthène et benzo[a]anthracène) dans les fumées d'huile de carthame, d'huile végétale et d'huile de maïs. La température des huiles était de 250±10°C. Les concentrations en benzo[a]pyrène, dibenzo[a,h]anthracène, benzo[b]fluoranthène et benzo[a]anthracène étaient respectivement de 2,1 ; 2,8 ; 1,8 et 2,5 µg/m<sup>3</sup> pour l'huile de carthame, de 2,7 ; 3,2 ; 2,6 et 2,1 µg/m<sup>3</sup> pour l'huile végétale et de 2,6 ; 2,4 ; 2,0 et 1,9 µg/m<sup>3</sup> pour l'huile de maïs (Chiang, Wu, et Ko 1999).

#### ■ Emissions d'aldéhydes

Schauer et *al.* ont rapporté des émissions en formaldéhyde de 20,1 mg par kilogramme de légumes frits pour le sauté à la poêle de légumes et de 12,4 mg par kilogramme de pomme

<sup>37</sup> [INRS.fr - Fiches d'aide au repérage \(FAR\) et fiches d'aide à la substitution \(FAS\) des cancérigènes](https://www.inrs.fr/fr/fiches-d-aide-au-reperage-far-et-fiches-d-aide-a-la-substitution-fas-des-cancerogenes), consulté en février 2023.

<sup>38</sup> La fiche d'aide au repérage 42 considère comme cancérigène avéré, les agents classés cancérigènes de catégorie 1A ou 1B selon le règlement CLP, ainsi que les agents classés dans les catégories 1 ou 2A du CIRC. Elle considère comme cancérigène suspecté les agents classés cancérigènes de catégorie 2 selon le règlement CLP et les agents classés dans la catégorie 2B du CIRC.

de terre frites pour la friture profonde. Ils ont aussi rapporté des émissions d'acétaldéhyde de 20,9 mg par kilogramme de pommes de terre frites pour la friture profonde (Schauer et al. 1998).

#### ■ Emissions d'amines aromatiques

Chiang et al. ont identifié des amines aromatiques, à savoir la 2-naphthylamine et le 4-aminobiphényle, dans les fumées de cuisson d'huile de tournesol, d'huile végétale et de saindoux raffiné. La température des huiles était de  $300 \pm 10^\circ\text{C}$ . Les concentrations en 2-naphthylamine et 4-aminobiphényle étaient respectivement de 31,5 et 35,7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour l'huile de tournesol, de 31,9 et 26,4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour l'huile végétale et de 48,3 et 23,3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour le saindoux raffiné (Chiang et al. 1999).

#### ■ Emissions d'autres composés organiques volatils

Rogge et al. ont mesuré les émissions d'aérosols organiques fins (diamètre aérodynamique inférieur à 2  $\mu\text{m}$ ) lors de la cuisson de steaks hachés au charbon de bois. Les composés détectés étaient des n-alcane, des acides n-alcanoïques, des acides dicarboxyliques, des n-alcane et des n-alcène, des n-alcanone, des alcanol et des furane, avec des émissions moyennes respectivement de 65,9 ; 1078,7 ; 39,6 ; 162,5 ; 14,4 et 16,1 mg par kilogramme de viande (Rogge et al. 1991).

Hsu et al. ont analysé les émissions d'acrylamide lors de cuisson de frites. La concentration en acrylamide dans les émissions de friture augmentait avec la température de cuisson (Hsu, Inbaraj, et Chen 2006).

### 3.2.1.2 Effets des différents paramètres influençant la composition des émissions de friture à hautes températures

La composition chimique des émissions de la cuisson varie considérablement en fonction des huiles de cuisson utilisées, de la température de cuisson, du type d'aliment cuit, ainsi que de la méthode et du style de cuisson mis en œuvre (IARC 2010a).

Plusieurs études rapportées par le CIRC ont examiné l'effet sur la concentration des différents composés (composés organiques volatils, HAP, amines hétérocycliques, aldéhydes, etc.) présents dans les émissions de friture à hautes températures des paramètres suivants : l'effet du type de matière grasse utilisée, de la température de cuisson, du type d'aliment, du type de cuisson ou du mode de friture (IARC 2010a) (Tableau 15).

Tableau 15 : Synthèse des résultats des études rapportées par le CIRC dans la monographie 95 mentionnant les effets des différents paramètres pouvant influencer la composition des émissions de friture (IARC 2010a)

Paramètres pouvant influencer les émissions d'huiles	Effets observés	Principaux résultats des différents articles
Type de matière grasse utilisée	Composition en composés organiques volatils	Shields et <i>al.</i> ont identifié qualitativement les composés volatils émis lors du chauffage des huiles de cuisson de canola, soja et arachide. La température de chauffage des huiles dans un wok se situait entre 240 et 280°C. Les composés les plus émis étaient le 1,3-butadiène, le benzène, le benzo[a]pyrène, le dibenzo[a,h]anthracène, l'acroléine, le formaldéhyde et l'acétaldéhyde. Les émissions de 1,3-butadiène et de benzène étaient respectivement 22 et 12 fois plus élevées dans les émissions d'huile de canola que dans les émissions d'huile d'arachide (Shields et al. 1995).

	Composition en HAP	<p>Chiang et al. ont analysé la composition en HAP des fumées émises lors du chauffage de différentes matières grasses couramment utilisées à Taïwan, à savoir le saindoux, l'huile de soja et l'huile d'arachide. Le chauffage des matières grasses dans une casserole était effectué à <math>250\pm 10^{\circ}\text{C}</math>. Tous les échantillons de fumées contenaient du dibenzo[a,h]anthracène et du benzo[a]anthracène. Les fumées des huiles de soja et d'arachide contenaient également du benzo[a]pyrène (Chiang et al. 1997).</p> <p>Chiang et al. ont analysé la composition en HAP des fumées émises lors du chauffage de différentes huiles, couramment utilisées à Taïwan, à savoir l'huile de carthame, l'huile d'olive, l'huile de noix de coco, l'huile de moutarde, l'huile végétale et l'huile de maïs. Le chauffage des huiles était effectué dans une casserole à <math>250\pm 10^{\circ}\text{C}</math>. Les fumées d'huile de carthame, d'huile végétale et d'huile de maïs contenaient respectivement du benzo[a]pyrène (22,7 ; 21,6 et 18,7 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>), du dibenz[a,h]anthracène (2,8 ; 3,2 et 2,4 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>), du benzo[b]fluoranthène (1,8 ; 2,6 et 2,0 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>), et du benzo[a,h]anthracène (2,5 ; 2,1 et 1,9 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>) (Chiang, Wu, et Ko 1999).</p> <p>Wu et al. ont analysé les fumées émises lors du chauffage de différentes matières grasses couramment utilisées à Taïwan, à savoir le saindoux, l'huile de soja et l'huile d'arachide. Le chauffage des matières grasses était effectué dans une casserole à <math>250\pm 10^{\circ}\text{C}</math>. Les fumées d'huiles de soja et d'huile d'arachide contenaient du benzo[a]pyrène (respectivement 21,1 et 19,6 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>). Les fumées de saindoux, d'huile de soja et d'huile d'arachide contenaient du benzo[a]anthracène (respectivement 2,3 ; 2,1 et 1,5 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>), du dibenzo[a,h]anthracène (respectivement 2,0 ; 2,4 et 1,9 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>), du 1-nitropyrene (1,1 ; 2,9 et 1,5 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>) et du 1,3-dinitropyrene (0,9 ; 3,4 et 0,4 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>) (Wu et al. 1998).</p>
	Composition en amines hétérocycliques	<p>Hsu et al. ont étudié la formation d'amines hétérocycliques dans les fumées provenant de la friture profonde de pomme de terre dans de l'huile de soja ou du saindoux. La température de la friture a été mesurée à <math>182^{\circ}\text{C}</math>. Chauffés seuls, le saindoux était plus susceptible de former ces amines que l'huile de soja. Les fumées provenant de l'huile de soja chauffée seule contenaient trois amines hétérocycliques, à savoir, la 2-amino-3-méthylimidazo[4,5-f]quinoxaline, la 2-amino-3-méthylimidazo[4,5-f]quinoléine et le 1-méthyl-9H-pyrido[4,3-b]indole. Le saindoux a généré de la 2-amino-3,4-diméthylimidazo[4,5-f]quinoléine et du 3-amino-1,4-diméthyl-5H-pyrido[4,3-b]indole (Hsu, Inbaraj, et Chen 2006).</p>

	Composition en aldéhydes	Sjaastad et Svendsen ont étudié les émissions d'aldéhydes (>C7) lors de friture de viande de bœuf à la poêle entre 190 et 200°C avec de la margarine, de l'huile de colza, de l'huile de soja ou de l'huile d'olive. Toutes les fumées d'huiles contenaient du <i>t</i> -2-décénal (respectivement 25,33 ; 3,60 ; 0,50 et 0,50 µg/m <sup>3</sup> ) et du 2-undécénal (respectivement 20,67 ; 3,81 ; 2,02 et 3,67 µg/m <sup>3</sup> ). Les émissions de margarine, d'huile de colza et d'huile de soja contenaient du <i>t,t</i> -2,4-décadiénal (respectivement 10,33 ; 0,63 et 0,52 µg/m <sup>3</sup> ). Seules les émissions de margarine contenaient du 2,4-décadiénal (25,33 µg/m <sup>3</sup> ). Les émissions d'huile de colza, d'huile de soja et d'huile d'olive contenaient du <i>s</i> -2-décénal (respectivement 0,82 ; 2,20 et 3,67 µg/m <sup>3</sup> ) (Sjaastad et Svendsen 2008).
Température	Composition en composés organiques volatils	Lin et <i>al.</i> ont étudié les émissions d'oxyde d'éthylène et d'acétaldéhyde pendant la friture à l'huile de soja pendant 5 à 10 minutes, à différentes températures (130, 150, 180 et 200°C). Les concentrations en oxyde d'éthylène et en acétaldéhyde dans les fumées augmentaient avec la température de friture, passant de 7 ppm à 130°C à 85 ppm à 200°C pour l'oxyde d'éthylène (Lin et al. 2007).
	Composition en aldéhydes	Fullana et <i>al.</i> ont étudié les émissions d'aldéhydes de faible poids moléculaire lors de fritures profondes à 180°C et à 240°C dans de l'huile d'olive extra vierge, de l'huile d'olive et de l'huile de canola à différentes températures. Les émissions d'aldéhydes étaient plus importantes lorsque les huiles étaient chauffées à plus hautes températures (Fullana, Carbonell Barrachina, et Sidhu 2004).
Type d'aliment	Composition en amines hétérocycliques	Thiébaud et <i>al.</i> ont étudié les sous-produits de cuisson en suspension dans l'air provenant de la friture de bœuf (hamburgers), de porc (tranches de bacon) et d'aliments à base de soja (hamburgers au tempeh) dans une poêle à 210°C. Dans le condensat des fumées, les quantités totales d'amines hétérocycliques étaient respectivement de 3 ng/g pour le bacon frit, de 0,37 ng/g pour le bœuf frit et de 0,177 ng/g pour les aliments à base de soja frits (Thiébaud et al. 1995).
Type d'aliment et type de friture	Composition en HAP	Li et <i>al.</i> ont analysé les fumées de friture d'huile de cuisson provenant de magasins de restauration, à savoir une cuisine d'un restaurant, un atelier de Youtiao (bâtonnets de pâte torsadée frits) et un atelier de Seqenma (beignets confits). Les concentrations en benzo[a]pyrène étaient respectivement pour la cuisine du restaurant, l'atelier de Youtiao et l'atelier de Seqenma de 4,9 ; 41,8 et 22,8 ng/m <sup>3</sup> . Les concentrations en dibenzo[a,h]anthracène étaient quant à elles respectivement de 30,3 ; 338 et 144 ng/m <sup>3</sup> (Li, Pan et Wang 1994).

Des études plus récentes rapportent aussi l'influence du type d'huile, du type de cuisson et du type d'aliments sur les émissions de friture.

Yao et al. ont mesuré les concentrations des 16 HAP de l'US EPA lors d'émissions pour des modes de friture sous une hotte de laboratoire. Deux paramètres ont été étudiés : la nature de l'huile (huile de colza, de soja, d'arachide et d'olive) et le type de cuisson (sauté à la poêle, friture à la poêle et friture profonde). Les concentrations en HAP, dans les fumées générées lors de friture profonde, étaient significativement plus élevées que celles générées par les autres types de cuisson. Les concentrations moyennes en HAP des émissions de friture profonde étaient de 43,17  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  et de 32,8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les autres types de cuisson. La cuisson à l'huile de colza a généré les plus fortes concentrations d'HAP dans les fumées (44,52  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne), suivie par la cuisson à l'huile d'olive (37,92  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne), d'arachide (35,10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne) et de soja (34,41  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne) (Yao et al. 2015). Par ailleurs, Song et al. ont étudié l'influence du type de cuisson et de la nature de l'huile utilisée (soja, arachide et tournesol) sur les émissions de composés organiques volatils ou semi-volatils de quatre plats chinois typiques, à savoir le poulet frit (friture profonde), le poulet Kung Pao (sauté à la poêle), le tofu frit à la poêle (friture à la poêle) et le chou sauté (sauté à la poêle). La cuisson du poulet Kung Pao a émis la plus grande quantité de polluants, en raison de sa méthode de cuisson intense, avec un taux d'émissions de 6 918  $\mu\text{g}/\text{min}$  comparativement aux cuissons des autres aliments : 4 827  $\mu\text{g}/\text{min}$  pour le poulet frit, 3 854  $\mu\text{g}/\text{min}$  pour le tofu frit à la poêle et 697  $\mu\text{g}/\text{min}$  pour le chou sauté. Les fumées générées suite à la cuisson du poulet frit avec des huiles de maïs, d'arachide, de soja et de tournesol ont été analysées pour étudier l'influence de la nature de l'huile de cuisson. La cuisson à l'huile de maïs a émis la plus grande quantité de polluants, avec un taux d'émissions de 4 827  $\mu\text{g}/\text{min}$ , suivie de l'huile de soja (3 625  $\mu\text{g}/\text{min}$ ), de l'huile d'arachide (3 423  $\mu\text{g}/\text{min}$ ) et de l'huile de tournesol (4 579  $\mu\text{g}/\text{min}$ ). Les résultats indiquent également que la nature de l'huile influence davantage la variation des compositions chimiques que le mode de cuisson (Song et al. 2022).

### 3.2.2 Données d'exposition du CIRC

Selon la monographie 95 du CIRC l'exposition professionnelle et non professionnelle aux émissions provenant de la cuisson d'aliments n'est pas caractérisée de manière systématique (IARC 2010a). La plupart des études disponibles ont examiné la nature et la quantité des émissions produites lors de différents modes de cuisson dans différents contextes, y compris le rejet des émissions des cuisines dans l'environnement ambiant. Pour autant, comme la nature des substances mesurées varie considérablement d'une étude à l'autre, il est difficile de caractériser quantitativement les expositions dans différents contextes. En outre, les co-expositions ne sont pas spécifiquement mentionnées dans la monographie 95. Les résultats qui y sont rapportés proviennent de diverses études de terrain qui ont été principalement menées en Asie du Sud-Est.

Le tableau 16 synthétise les différentes études mentionnant des mesures de HAP rapportées dans la monographie 95 du CIRC (IARC 2010a) :

Tableau 16 : Liste des études rapportées dans la monographie 95 du CIRC mentionnant des mesures d'HAP (IARC 2010a)

Contexte de l'étude et référence documentaire	Conception de l'étude / échantillons	Principaux résultats
<p>Vainiotalo et Matveinein ont mené une étude en Finlande dans 5 lieux de travail ; 2 cuisines de restaurants de grillades (cuisson de viande à 300°C), 1 cuisine de restaurant (cuisson de viande à 250°C), 1 usine alimentaire (friture profonde entre 180 et 260°C) et 1 boulangerie (friture profonde à 190°C) (Vainiotalo et Matveinen 1993).</p>	<p>Les auteurs ont mesuré les concentrations en PM<sub>1,0</sub> et de 12 HAP (anthracène, benzo[a]fluorène, dibenzo[ah]anthracène, benzo[a]pyrène, benzo[e]pyrène, benzo[g,h,i]perylène, benzo[k]fluoranthène, chrysène, fluorène, naphthalène, phénanthrène et pyrène) des émissions de friture à proximité de l'appareil de cuisson et de la zone de travail.</p> <p>Les aérosols ont été prélevés avec un filtre en fibres de verre puis analysés par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier.</p> <p>Les HAP ont été prélevés avec un filtre en fibres de verre puis analysés par HPLC-FLD.</p>	<p>Les concentrations en PM<sub>1,0</sub> étaient les plus élevées (9 - 16 mg/m<sup>3</sup>) dans les cuisines utilisant la friture profonde, les autres cuisines ayant des concentrations comprises entre &lt;0,01 et 3,2 mg/m<sup>3</sup>.</p> <p>Les concentrations atmosphériques totales en HAP variaient entre 0,97 et 31,8 µg/m<sup>3</sup> pour les cuisines des restaurants de grillades, et étaient de 2,02 µg/m<sup>3</sup> pour les cuisines du dernier restaurant, de 0,2 µg/m<sup>3</sup> pour l'usine alimentaire (émettant uniquement du naphthalène), et de 1,02 µg/m<sup>3</sup> pour la boulangerie.</p>
<p>He et al. ont mené une étude à Shenzhen (Chine), en juillet 2001 dans les cuisines de 2 restaurants : un restaurant servant de la cuisine du Hunan (cuisine épicée) et un autre de la cuisine cantonaise (aliment frit,</p>	<p>Les auteurs ont analysé les concentrations d'HAP, d'alcanes, d'acides gras, etc. des fumées de cuisson émises.</p> <p>Les HAP ont été prélevés avec un filtre de quartz puis analysés par GC-MS.</p>	<p>Au total, 21 et 23 HAP ont été détectés et quantifiés, respectivement, dans la cuisine de Hunan et la cuisine cantonaise. La masse totale de HAP émis dans la cuisine de Hunan était de 40,8 ng/mg de particules émises contre 131,3 ng/mg de particules émises pour la cuisine cantonaise. La masse d'espèces organiques et la distribution moléculaire des n-alcanes et des HAP reflétaient les dissemblances entre les deux styles de</p>



<p>mijoté ou braisé) (He, Hu, Huang, et al. 2004a).</p>		<p>cuisine, mais généralement les émissions de particules organiques des deux restaurants étaient similaires.</p>
<p>He et <i>al.</i> ont mené une étude à Pékin (Chine), en novembre 2001, dans 2 restaurants commerciaux en Chine ; un restaurant proposant des aliments chinois cuits au feu de gaz et un autre de style Ouïghour (agneau grillé au charbon de bois) (He, Hu, Wang, et al. 2004b)</p>		<p>Au total, deux HAP ont été détectés et 9 HAP quantifiés dans le restaurant chinois et le restaurant Ouïghour. La concentration totale des HAP dans le restaurant chinois était de 0,19 µg/m<sup>3</sup> contre 63,05 µg/m<sup>3</sup> pour le restaurant Ouïghour.</p>
<p>Wei See et <i>al.</i> ont mené une étude dans un restaurant universitaire de Singapour, composé de 3 stands avec différentes cuisines : malaise (friture profonde), chinoise (sauté à la poêle) et indienne (plats mijotés). (Wei See, Karthikeyan, et Balasubramanian 2006).</p>	<p>Les auteurs ont mesuré les particules PM<sub>2,5</sub> et sur cette phase particulière, les 16 HAP prioritaires de l'US EPA. Les prélèvements ont été réalisés avec des filtres de quartz puis analysés par GC-MS.</p>	<p>Les concentrations moyennes en PM<sub>2,5</sub> étaient de 245,3±77,1 µg/m<sup>3</sup> pour le stand de cuisine malaise, de 201,8±140,5 µg/m<sup>3</sup> pour le stand de cuisine chinoise, de 189,9±43,6 µg/m<sup>3</sup> pour le stand de cuisine indienne et de 29,4±7,6 µg/m<sup>3</sup> dans l'arrière-cuisine. La concentration totale des 16 HAP était en moyenne de 609,0 ng/m<sup>3</sup> pour le stand de cuisine malaise, de 141,0 ng/m<sup>3</sup> pour le stand de cuisine chinoise, de 37,9 ng/m<sup>3</sup> pour le stand de cuisine indienne et de 9,8 ng/m<sup>3</sup> pour l'arrière-cuisine. Les auteurs notent que la cuisine malaise, à base de friture profonde, émet plus d'HAP lourds (ceux qui sont cancérigènes) que la cuisine mijotée indienne et la cuisine chinoise qui est sautée à la poêle ou au wok.</p>
<p>Pan et <i>al.</i> ont mené une étude en 2005, dans 23 restaurants de Taïwan, sur 202 employés de</p>	<p>Les auteurs ont évalué l'effet des fumées d'huile de cuisson sur les travailleurs dans des restaurants chinois.</p>	<p>Les concentrations moyennes en PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> et PM<sub>1,0</sub> étaient respectivement de 81,3±1,8 µg/m<sup>3</sup>, 58,8±1,6 µg/m<sup>3</sup> et 44,2 ±1,6 µg/m<sup>3</sup> dans les cuisines, contre 34,4±1,8 µg/m<sup>3</sup>, 26,6±1,8 µg/m<sup>3</sup> et 23,3±1,8 µg/m<sup>3</sup> en salle.</p>

<p>cuisine et 185 employés de service (Pan, Chan, et Wu 2008) {Citation}</p>	<p>Les auteurs ont mesuré dans les cuisines et les salles à manger, les niveaux de particules en suspension dans l'air (<math>PM_{10}</math>, <math>PM_{2,5}</math> et <math>PM_{1,0}</math>) et les concentrations de 5 HAP particulaires (benzo[a]pyrène, benzo[g,h,i]perylène, benzo[k]fluoranthène, dibenzo[a,e]pyrène et pyrène).</p> <p>Les particules atmosphériques ont été mesurées avec un détecteur de poussières (Grimm model 1.108).</p> <p>Les 5 HAP ont été prélevés avec des filtres en fibres de verre, puis quantifiés par chromatographie liquide haute performance couplée à un détecteur fluorescent.</p> <p>Les auteurs ont aussi mesuré les concentrations urinaires en 1-OHP, par HPLC-FLD.</p>	<p>Les concentrations moyennes en HAP dans les cuisines et en salle étaient respectivement de <math>2,7 \pm 4,7</math> ng/m<sup>3</sup> et <math>0,4 \pm 3,4</math> ng/m<sup>3</sup> pour le pyrène, <math>1,5 \pm 4,0</math> ng/m<sup>3</sup> et <math>0,2 \pm 2,6</math> ng/m<sup>3</sup> pour le benzo[k]fluoranthène, <math>6,9 \pm 4,2</math> ng/m<sup>3</sup> et <math>1,1 \pm 2,7</math> ng/m<sup>3</sup> pour le benzo[a]pyrène, <math>5,6 \pm 3,9</math> ng/m<sup>3</sup> et <math>0,6 \pm 3,8</math> ng/m<sup>3</sup> pour le benzo[g,h,i]perylène et de <math>2,3 \pm 6,3</math> ng/m<sup>3</sup> et <math>0,6 \pm 6,4</math> ng/m<sup>3</sup> pour le dibenzo[a,e]pyrène.</p> <p>La concentration totale des 5 HAP était en moyenne de <math>28,0 \pm 3,4</math> ng/m<sup>3</sup> dans les cuisines et de <math>4,5 \pm 2,6</math> ng/m<sup>3</sup> en salle.</p> <p>Les concentrations moyennes en 1-OHP étaient respectivement de <math>4,5 \pm 4,7</math> µg/g de créatinine chez les cuisiniers contre <math>2,7 \pm 4,9</math> µg/g de créatinine chez le personnel en salle.</p>
------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### 3.2.3 Données bibliographiques publiées après la monographie du CIRC

Les données d'exposition de la monographie du CIRC ont été complétées par une revue de la bibliographie réalisée en janvier 2023. Cette dernière a été réalisée sur Scopus et PubMed en utilisant les équations suivantes pour identifier les publications parues après 2007, année correspondant à l'année précédant les études rapportées par le CIRC dans la monographie 95 relatives à l'exposition humaine :

**PubMed** : (((((occupation\*[Text Word]) OR (workplace[Text Word])) OR (worker[Text Word])) AND ((((((fry\*[Text Word]) OR (stir-frying[Text Word])) OR (deep-frying[Text Word])) OR (pan-frying[Text Word])) OR (cooking[Text Word])) OR (kitchen[Text Word]))) AND (((((((("polycyclic aromatic hydrocarbons"[Text Word])) OR ("polyaromatic hydrocarbons"[Text Word])) OR ("polynuclear aromatic hydrocarbons"[Text Word])) OR (PAH[Text Word])) OR (BaP[Text Word])) OR (Benzo(a)pyrene[Text Word]))) AND ((expos\*[Text Word]) OR (biomonitoring[Text Word])) Filters: from 2007 – 2023

**Scopus** : ( TITLE-ABS-KEY ( occupation\* ) OR TITLE-ABS-KEY ( workplace ) OR TITLE-ABS-KEY ( worker ) ) AND ( ( TITLE-ABS-KEY ( fry\* ) ) OR ( TITLE-ABS-KEY ( stir-frying ) ) OR ( TITLE-ABS-KEY ( stir-frying ) ) OR ( TITLE-ABS-KEY ( deep-frying ) ) OR ( TITLE-ABS-KEY ( pan-frying ) ) OR ( TITLE-ABS-KEY ( kitchen ) ) OR ( TITLE-ABS-KEY ( cooking ) ) ) AND ( ( TITLE-ABS-KEY ( "polycyclic aromatic hydrocarbons" ) ) OR ( TITLE-ABS-KEY ( "polyaromatic hydrocarbons" ) ) OR ( TITLE-ABS-KEY ( "polynuclear aromatic hydrocarbons" ) ) OR ( TITLE-ABS-KEY ( pah ) ) OR ( TITLE-ABS-KEY ( bap ) ) OR ( TITLE-ABS-KEY ( "Benzo(a)pyrene" ) ) ) AND ( ( TITLE-ABS-KEY ( expos\* ) ) OR ( TITLE-ABS-KEY ( biomonitoring ) ) ) AND PUBYEAR > 2006 AND PUBYEAR < 2023

Cette requête a permis d'obtenir 82 publications dont 16 ont été jugées d'intérêt pour l'évaluation des expositions aux HAP lors de travaux exposant aux émissions de friture à hautes températures (Tableau 17).

Intérêt pour l'évaluation des expositions aux HAP lors de travaux exposant aux émissions de friture à hautes températures

Description de l'étude / échantillons	Principaux résultats
<p>Les auteurs ont mesuré les niveaux individuels aux HAP (les 16 hydrocarbures de l'US EPA), aux hydrocarbures en C9-C12 et aux particules de carbone, y compris les particules ultrafines (PM<sub>0,1</sub>) pendant les périodes de friture. Les échantillons totaux ont été prélevés avec des filtres en fibres de verre analysés par HPLC-MS.</p>	<p>Seul le naphtalène a été détecté dans les 3 restaurants avec une concentration moyenne de 0,18 µg/m<sup>3</sup>. L'acénaphthylène a aussi été détecté, à une concentration de 0,04 µg/m<sup>3</sup>, dans un seul prélèvement d'un restaurant utilisant un mode de chauffage mixte électrique et gaz avec une cuisson au beurre.</p>
<p>Les auteurs ont estimé l'exposition aux HAP en analysant les échantillons d'huile de cuisson, le tabac, et ont obtenu les données à partir d'un questionnaire et en mesurant par HPLC les concentrations urinaires en 1-OHP des</p>	<p>La concentration médiane de 1-OHP était de 5,1 µmol/mol de créatinine pour les cuisiniers avec un équipement de protection individuelle, de 6,5 µmol/mol de créatinine pour les cuisiniers sans équipement de protection individuelle et de 2,9 µmol/mol de créatinine pour les serveurs.</p>

<p>dans une cuisine expérimentale d'un laboratoire norvégien (Sjaastad, Jørgensen, et Svendsen 2010).</p>	<p>EPA), aux aldéhydes de C9 à C12 et aux particules de cuisson, dont les particules ultrafines (PM<sub>1,0</sub>) durant la cuisson de beefsteaks. La friture des steaks a été effectuée dans une poêle pendant 8 minutes entre 280 et 300°C avec un mode de chauffage électrique ou au gaz. De la margarine ou de l'huile de soja ont été utilisées.</p> <p>Les particules totales ont été prélevées avec un filtre en fibres de verre puis analysées par gravimétrie.</p> <p>Les HAP ont été prélevés avec un filtre en fibres de verre puis analysés par HPLC-MS.</p>	<p>Seulement 4 HAP ont été détectés dans les prélèvements : le naphtalène était présent dans tous les prélèvements (entre 0,15 et 0,27 µg/m<sup>3</sup>), le benzo[a]pyrène pour la cuisson au gaz avec de la margarine (0,14 µg/m<sup>3</sup>), le phénanthrène pour la cuisson électrique avec de la margarine et la cuisson au gaz avec de l'huile de soja (respectivement 0,06 µg/m<sup>3</sup> et 0,05 µg/m<sup>3</sup>) et le dibenzo[a,h]anthracène pour la cuisson électrique avec de l'huile de soja. Tous les niveaux d'exposition aux HAP se sont avérés inférieurs à la norme norvégienne fixée à 40 µg/m<sup>3</sup> <sup>(39)</sup></p> <p>Les auteurs mettent en évidence le rôle prépondérant du mode de chauffage électrique ou gaz. Le chauffage au gaz est le mode le plus émissif en particules ultrafines (en moyenne 6,35 mg/m<sup>3</sup> pour le gaz et 1,7 mg/m<sup>3</sup> pour le chauffage électrique), en HAP (pour le naphtalène en moyenne 0,21 mg/m<sup>3</sup> pour le chauffage au gaz et 0,18 mg/m<sup>3</sup> pour le chauffage électrique).</p>
<p>Pan et al. ont mené une étude dans 6 restaurants chinois de la région de Taipei (Taïwan) employant au total 45 cuisiniers masculins dont 20 fumeurs (Chih-Hong Pan et al. 2011).</p>	<p>Les auteurs ont mesuré et comparé les variations des émissions en particules (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> et PM<sub>1,0</sub>) et en 5 HAP particuliers (benzo[a]pyrène, benzo[g,h,i]pérylène, benzo[k]fluoranthène, dibenzo[a,e]pyrène et pyrène) lors de différentes tâches (la friture, la cuisson à l'étouffée, la cuisson à la vapeur et le rôtissage), avant et après installation d'un système de rideau d'air permettant d'augmenter l'efficacité de captage des hottes.</p>	<p>Les niveaux moyens en PM<sub>10</sub> étaient de 131,4±2,6 µg/m<sup>3</sup> avant l'installation du système de captage et de 44,9±1,5 µg/m<sup>3</sup> après installation.</p> <p>Les niveaux moyens en PM<sub>2,5</sub> étaient de 90,6±2,2 µg/m<sup>3</sup> avant l'installation du système de captage et de 37,0±1,6 µg/m<sup>3</sup> après installation.</p> <p>Les niveaux moyens en PM<sub>1,0</sub> étaient de 65,7±2,0 µg/m<sup>3</sup> avant l'installation du système de captage et de 39,1±1,5 µg/m<sup>3</sup> après installation.</p> <p>Les niveaux moyens en HAP avant et après l'installation du système étaient respectivement de 3,7±4,4 ng/m<sup>3</sup> et 1,0±3,9 ng/m<sup>3</sup> pour le pyrène, 1,8±2,1 ng/m<sup>3</sup> et 0,5±1,9 ng/m<sup>3</sup> pour le benzo[k]fluoranthène, 8,5±2,3 ng/m<sup>3</sup> et 2,4±2,2 ng/m<sup>3</sup> pour le benzo[a]pyrène, 4,8±2,7 ng/m<sup>3</sup> et 1,2±2,4 ng/m<sup>3</sup> pour le benzo[g,h,i]pérylène et de 0,9±4,3 ng/m<sup>3</sup> et 0,2±6,3 ng/m<sup>3</sup> pour le dibenzo[a,e]pyrène.</p>

<sup>39</sup> La valeur limite s'applique aux HAP particuliers collectés par filtration. Elle se base sur la somme des 21 composés de HAP suivants : anthracène, benzo(a)anthracène, benzo[a]fluorène, benzo[b]fluorène, benzo[b]fluoranthène, benzo[j]fluoranthène, benzo[k]fluoranthène, benzo[l]fluoranthène, benzo[m]fluoranthène, benzo[n]fluoranthène, benzo[o]fluoranthène, benzo[p]fluoranthène, benzo[q]fluoranthène, benzo[r]fluoranthène, benzo[s]fluoranthène, benzo[t]fluoranthène, benzo[u]fluoranthène, benzo[v]fluoranthène, benzo[w]fluoranthène, benzo[x]fluoranthène, benzo[y]fluoranthène, benzo[z]fluoranthène, benzo[a]pyrène, benzo[e]pyrène, benzo[g,h,i]pérylène, dibenzo[a,h]anthracène, dibenzo[a,e]pyrène, dibenzo[a,h]pyrène, dibenzo[a,i]pyrène, dibenzo[a,l]pyrène, phénanthrène, fluoranthène

	<p>Les particules ont été mesurées avec un détecteur de poussières (Grimm model 1.108).</p> <p>Les HAP ont été prélevés avec des filtres en fibres de verre, puis quantifiés par HPLC-FLD.</p>	<p>La concentration totale des 5 HAP était en moyenne de <math>24,2 \pm 2,7</math> ng/m<sup>3</sup> avant l'installation du système de captage et de <math>5,9 \pm 2,7</math> ng/m<sup>3</sup> après installation. Cette étude démontre que l'utilisation d'un rideau d'air est efficace pour réduire les concentrations atmosphériques des cuisines en polluants émis par friture à hautes températures (particules et HAP).</p>
<p>Jørgensen et al. ont mené une étude dans une cuisine de laboratoire avec 2 cuisinières : une électrique et une au gaz (Jørgensen et al. 2013).</p>	<p>Les auteurs ont mesuré l'exposition des cuisiniers aux HAP (32 HAP ont été quantifiés dont les 16 HAP prioritaires de l'US EPA), aux aldéhydes supérieurs mutagéniques, aux particules totales dont les particules ultrafines (PM<sub>1,0</sub>) durant la cuisson à la poêle de bacon frais et fumé sur deux types de cuisinière (électrique et gaz) entre 270 et 320°C.</p> <p>Les HAP et les particules totales ont été prélevés avec un filtre en Teflon™ puis quantifiés par HPLC-MS. Les dimensions des particules ont aussi été analysées avec l'analyseur de mobilité électrique à balayage (TSI-3939)</p>	<p>La concentration totale des 32 HAP (phase gazeuse et particulaire) variait entre 270 et 300 ng/m<sup>3</sup>.</p> <p>Le phénanthrène est l'HAP le plus abondant de la phase gazeuse (entre 17 et 24 ng/m<sup>3</sup>).</p> <p>La cuisson du bacon fumé montre un patron d'émission d'HAP différent puisque dans la phase particulaire, le Retène représente environ 10 % (21 ng/m<sup>3</sup>) de tous les HAP mesurés. Les auteurs n'ont trouvé aucune explication à ce phénomène.</p> <p>La concentration en particules totales variait entre 2,2 et 4,2 mg/m<sup>3</sup>.</p> <p>La cuisson avec un système électrique émettait des particules avec un diamètre plus important, les particules les plus émises avaient un diamètre de 153,5 nm, contre 84,1 nm pour la cuisson au gaz. Les auteurs notent que les particules les plus émises avec le système de cuisson au gaz uniquement à la flamme (sans poêle ni aliment) avaient un diamètre de 19,5 nm et que ce résultat ne permet pas d'expliquer les variations du diamètre des particules entre la cuisson électrique et celle au gaz.</p>
<p>Lai et al. ont mené une étude dans 3 cantines militaires Taïwanaises localisées au nord, centre et sud du pays</p>	<p>Les auteurs ont déterminé les concentrations de 5 HAP de la phase particulaire (benzo[a]pyrène, benzo[g,h,i]pérylène, benzo[k]fluoranthène, dibenzo[a,e]pyrène et pyrène).</p>	<p>Les concentrations moyennes en HAP dans les cuisines et dans les bureaux étaient, respectivement, de 2,26 et 0,39 ng/m<sup>3</sup> pour le pyrène, de 0,65 et 0,15 ng/m<sup>3</sup> pour le benzo[a]anthracène, de 1,51 et 0,66 ng/m<sup>3</sup> pour le benzo[k]-fluoranthène, de 3,35 et 1,23 ng/m<sup>3</sup> pour le benzo[a]pyrène et de 9,55 et 1,69 ng/m<sup>3</sup> pour le benzo[g,h,i]pérylène. La concentration totale</p>

<p>dans des zones rurales, sur 61 cuisiniers masculins et 37 administratifs masculins, fumeurs et non-fumeurs (Lai et al. 2013).</p>	<p>Les prélèvements atmosphériques ont été réalisés avec des filtres en Teflon™ puis analysés par HPLC-MS.</p> <p>Les auteurs ont mesuré l'exposition aux HAP des travailleurs en mesurant le 1-OHP dans les urines. Les prélèvements urinaires ont été réalisés en début de poste au début de la semaine de travail et en fin de poste le dernier jour de la semaine de travail. Les analyses ont été effectuées par HPLC.</p>	<p>des 5 HAP était en moyenne de 20,87 ng/m<sup>3</sup> dans les cuisines contre 4,23 ng/m<sup>3</sup> dans les bureaux.</p> <p>Les concentrations urinaires en 1-OHP étaient supérieures en fin de poste, en moyenne de 0,84 ng/mL (0,95 ng/mL pour les fumeurs et 0,69 ng/mL pour les non-fumeurs) contre 0,60 ng/mL en début de poste (0,69 ng/mL pour les fumeurs et 0,46 ng/mL pour les non-fumeurs).</p>
<p>Zhang et al. ont mené une étude dans 8 marchés nocturnes de Hefei (Chine) sur, principalement, des grillades au gaz (Zhang et al. 2015).</p>	<p>Les auteurs ont évalué les niveaux en particules PM<sub>10</sub> et des 16 HAP particulaires (phénanthrène, anthracène, 2-methylphénanthrène, 1-methylphénanthrène, fluoranthène, pyrène, benzo[a]anthracène, chrysène, benzo[b]fluoranthène, benzo[k]fluoranthène, benzo[e]pyrène, benzo[a]pyrène, perylène, indéno[1,2,3-cd]pyrène, dibenzo[a,h]anthracène et benzo[g,h,i]pérylène) dans les marchés nocturnes et dans une zone rurale.</p> <p>Les prélèvements atmosphériques ont été réalisés avec des filtres en fibres verre puis analysés par GC-MS.</p>	<p>Les niveaux en PM<sub>10</sub> dans les marchés variaient entre 168 et 426 µg/m<sup>3</sup> avec une concentration moyenne de 267±100 µg/m<sup>3</sup> comparée à une concentration moyenne de 55,1 µg/m<sup>3</sup> dans la zone rurale.</p> <p>Les concentrations totales en HAP dans les marchés variaient de 145 à 1340 ng/m<sup>3</sup> avec une concentration moyenne de 828±360 ng/m<sup>3</sup> contre une concentration moyenne de 101 ng/m<sup>3</sup> dans la zone rurale.</p> <p>Les auteurs notent que les HAP prédominants sont les HAP à 5 et 6 noyaux, impliquant une combinaison de sources, cuisson et trafic.</p> <p>Le taux d'inhalation quotidienne en HAP des employés pour 6 heures de service, ajusté au benzo[a]pyrène, était en moyenne de 1,75±0,878 µg/jour.</p>

<p>Kamal et <i>al.</i> ont mené une étude au Pakistan dans des cuisines professionnelles et domestiques avec des pratiques de cuisson traditionnelles (au charbon ou avec des biocombustibles) et primitives (cuisson de plats à base de riz au charbon ou avec des biocombustibles) (Kamal et al. 2015).</p>	<p>Les auteurs ont évalué la quantité et la concentration de 18 HAP (l'anthracène, le coronène et les 16 HAP prioritaires de l'US EPA) dans des poussières de surface des cuisines.</p> <p>Les auteurs ont aussi étudié le risque cancérogène des HAP liés aux poussières par inhalation, ingestion ou contact cutané.</p> <p>Pour déterminer les concentrations en HAP, les poussières de surface ont été analysées par GC-MS.</p>	<p>Les concentrations totales en HAP étaient en moyenne de 6395±552 ng/g de matière sèche dans les cuisines professionnelles contre 1808±849 ng/g de matière sèche dans les cuisines domestiques.</p> <p>La somme des concentrations des 7 HAP cancérogènes (benzo[a]anthracène, benzo[a]pyrène, benzo[b]fluoranthène, benzo[k]fluoranthène, benzo[g,h,i]pérylène, indeno[1,2,3-c,d]pyrène et pyrène) étaient en moyenne de 3344±582 ng/g de matière sèche dans les cuisines professionnelles contre 815±135 ng/g de matière sèche dans les cuisines domestiques.</p> <p>Le composé le plus abondant dans les cuisines professionnelles était le benzo[a]pyrène avec une concentration moyenne de 630±141 ng/g de matière sèche, contre 78±26 ng/g de matière sèche dans les cuisines domestiques.</p>
<p>Singh et <i>al.</i> ont mené une étude dans une cuisine centrale de la ville de Lucknow (Inde) sur 94 cuisiniers et 94 témoins (personnel administratif de la même entreprise) (Singh et al. 2016).</p>	<p>Les auteurs ont examiné l'association entre les émissions de chaleur, de particules, de composés organiques volatils totaux (COVT) et de HAP (les 16 HAP prioritaires de l'US EPA) dans l'air intérieur de la cuisine et les dysfonctionnements rénaux chez les employés de la cuisine.</p> <p>Les auteurs ont mesuré les niveaux en particules (PM<sub>1</sub> et PM<sub>2,5</sub>) avec un système portable HAZ-DUST, les COVT avec moniteur de COV portable (MiniRAE 3000).</p> <p>Les prélèvements atmosphériques d'HAP ont été réalisés avec un filtre en fibre de verre puis analysé par HPLC-DAD.</p>	<p>Les concentrations atmosphériques moyennes dans les cuisines étaient de 71,9 (1-293 µg/m<sup>3</sup>) µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>1</sub>, de 81,3 µg/m<sup>3</sup> (1-187 µg/m<sup>3</sup>) pour les PM<sub>2,5</sub> et de 1,26 µg/m<sup>3</sup> (0,7-2,3 µg/m<sup>3</sup>) pour les COVT (sic).</p> <p>Les concentrations moyennes en HAP étaient de 3,1 mg/m<sup>3</sup> pour le naphthalène, de 0,81 mg/m<sup>3</sup> pour le fluorène, de 17,71 mg/m<sup>3</sup> pour l'acénaphthène, de 0,21 mg/m<sup>3</sup> pour le phénanthrène, de 6,1 mg/m<sup>3</sup> pour le pyrène, de 0,2 mg/m<sup>3</sup> pour le chrysène et de 3,1 mg/m<sup>3</sup> pour l'indéno[1,2,3-cd]pyrène.</p> <p>Les concentrations urinaires moyennes des cuisiniers étaient de 10,69 ng/g de créatinine pour le 1-NAP, de 3,55 ng/g de créatinine pour le 2-OHF, de 2,60 ng/g de créatinine pour le 3-OHF, de 1,44 ng/g de créatinine pour le 9-OHF, de 0,98 ng/g de créatinine pour le 9-OHPH, et de 3,93 ng/g de créatinine pour le 1-OHP.</p> <p>Les concentrations en métabolites urinaires des HAP des cuisiniers étaient plus élevées que chez le personnel administratif. Pour autant, aucune</p>



	Les auteurs ont aussi mesuré les concentrations urinaires en 1-naphtol (1-NAP), 2-hydroxyfluorène (2-OHF), 3-hydroxyfluorène (3-OHF), 9-hydroxyfluorène (9-OHF), 9-hydroxyphénanthrène (9-OHPH), et 1-hydroxypyrene (1-OHP) par GC-MS.	différence statistiquement significative dans la concentration urinaire de HAP n'a été trouvée entre les cuisiniers et le personnel administratif. Cela peut être dû à une grande variation entre les individus de ces groupes.
Lewné et <i>al.</i> ont mené une étude en Suède, sur 36 salariés (cuisiniers, manager de buffet froid et assistants cuisiniers) répartis dans 21 cuisines de restauration collective, de restaurants européens (type à la carte), de restaurants rapides (burgers, saucisses et kebab) et de restaurants asiatiques (Lewné et <i>al.</i> 2017).	Les auteurs ont mesuré l'exposition des travailleurs aux HAP (32 HAP ont été quantifiés dont les 16 HAP prioritaires de l'US EPA), au NO <sub>2</sub> et aux poussières totales. Les prélèvements atmosphériques ont été réalisés avec un filtre dans une cassette conductrice en polypropylène pour les HAP particulaires et les poussières totales et avec un tube d'adsorption (XAD2) pour les HAP gazeux. Les prélèvements ont ensuite été analysés par HPLC-MS. Les concentrations en NO <sub>2</sub> ont été mesurées avec un dosimètre passif.	Les concentrations totales des 32 HAP étaient en moyenne de 140 ng/m <sup>3</sup> dans les cuisines des restaurants collectifs, de 230 ng/m <sup>3</sup> dans les cuisines des restaurants européens, de 50 ng/m <sup>3</sup> dans les cuisines des restaurants rapides et de 520 ng/m <sup>3</sup> dans les cuisines des restaurants asiatiques. Les concentrations en poussières totales étaient en moyenne de 670 µg/m <sup>3</sup> dans les cuisines des restaurants collectifs, de 450 µg/m <sup>3</sup> dans les cuisines des restaurants européens, 95 µg/m <sup>3</sup> dans les cuisines des restaurants rapides et de 360 µg/m <sup>3</sup> dans les cuisines des restaurants asiatiques. Les concentrations moyennes en NO <sub>2</sub> étaient de 24 µg/m <sup>3</sup> dans les cuisines des restaurants collectifs, de 36 µg/m <sup>3</sup> dans les cuisines des restaurants européens, 38 µg/m <sup>3</sup> dans les cuisines des restaurants rapides et de 65 µg/m <sup>3</sup> dans les cuisines des restaurants asiatiques. Les auteurs notent que les niveaux d'exposition sont plus importants lorsque les aliments sont frits avec un mode de chauffage au gaz et que le temps de friture est important (notamment dans les restaurants asiatiques).
Li et <i>al.</i> ont mené une étude à Yucheng (Chine) d'août à septembre 2013	Les auteurs ont mesuré les émissions lors d'activité de cuisine de 19 HAP (dont les 16 HAP prioritaires de l'US EPA) liés à des particules PM <sub>2,5</sub> .	La concentration totale des 19 HAP liés aux particules était, en moyenne de 210±105 ng/m <sup>3</sup> pour le stand de grillades de poissons en plein air, de 420±191 ng/m <sup>3</sup> pour le stand de grillades de viandes en plein air, de 202±230 ng/m <sup>3</sup> pour le stand de cuisine de rue, de 150±65 ng/m <sup>3</sup> pour la

<p>dans les cuisines de restaurants universitaires : des stands de grillades en plein air (poisson et viande), un stand de cuisine de rue (plats mijotés et friture), une cafétéria réalisant des plats mijotés et une cafétéria réalisant de la friture (sauté à la poêle, friture à la poêle et friture profonde) (Li et al. 2018).</p>	<p>Les prélèvements ont été réalisés avec un filtre en fibres de quartz puis analysés par GC-MS.</p>	<p>cafétéria réalisant des plats mijotés et de <math>783 \pm 499</math> ng/m<sup>3</sup> pour la cafétéria réalisant de la friture.</p> <p>Les auteurs notent que les principaux facteurs influençant les émissions d'HAP sont la méthode de cuisson (grillades, friture et plats mijotés), la teneur en matières grasses des matières premières et la consommation d'huile. Par ailleurs, les HAP à quatre ou six cycles étaient les plus émis.</p>
<p>Wu et al. ont mené une étude entre septembre et novembre 2014, dans 3 cuisines commerciales réalisant des grillades ou de la friture à Taïwan : une cafétéria chinoise, un restaurant rapide occidental (poulet frit, friture profonde) et des stands de</p>	<p>Les auteurs ont comparé les expositions aux HAP (les 16 HAP prioritaires de l'US EPA) (particulaires et gazeux) et aldéhydes avec les facteurs de risques correspondants.</p> <p>Les HAP particuliers ont été prélevés avec un filtre en Teflon™ et les HAP gazeux ont été prélevés avec une cartouche en polyuréthane. Les prélèvements ont ensuite été analysés par GC-MS.</p>	<p>Les concentrations totales des 16 HAP (phase gazeuse et phase particulaire) étaient en moyenne de <math>6\,233,5 \pm 4\,262,4</math> ng/m<sup>3</sup> pour la cafétéria chinoise, de <math>1\,365,2 \pm 1\,958,7</math> ng/m<sup>3</sup> pour le restaurant rapide occidental et de <math>6\,183,1 \pm 5\,793,9</math> ng/m<sup>3</sup> pour les stands de cuisines de rues.</p>

cuisine de rue (Wu et al. 2019)		
Goel et <i>al.</i> ont mené une étude dans la cuisine d'un restaurant universitaire du campus de Kanpur (Inde) entre novembre 2012 et février 2013 (Goel, Ola, et Veetil 2019).	Les auteurs ont analysé la distribution de 24 HAP sur des particules de différentes tailles dans des fumées de cuisine végétarienne et non-végétarienne. Les HAP ont été prélevés avec un compteur optique de particules et un « Micro-Orifice Uniform Deposit Impactor ». Les prélèvements ont ensuite été analysés par GC-MS.	Au total, 16 HAP ont été détectés dont 7 classés par l'US EPA comme cancérogènes probables, à savoir, le benzo[a]pyrène, le benzo[a]anthracène, le chrysène, le benzo[b]fluoranthène, le benzo[k]fluoranthène, le benzo[g,h,i]pérylène et l'indéno[1,2,3-cd]pyrène.
Lee et <i>al.</i> ont mené une étude entre juin et juillet 2019 dans 25 cuisines scolaires coréennes (plats à base de riz) (Lee et al. 2022).	Les auteurs ont mesuré les niveaux de monoxyde de carbone, CO <sub>2</sub> , HAP (les 16 HAP prioritaires de l'US EPA), COVT, formaldéhyde et les particules PM <sub>1</sub> , PM <sub>2,5</sub> et PM <sub>10</sub> . Les HAP ont été prélevés avec un filtre en polytétrafluoroéthylène, puis analysés par GC. Les COVT ont été collectés avec un tube de charbon actif et analysés par GC. Les particules ont été mesurées avec un détecteur de poussières (Grimm 1.108).	La concentration moyenne des 16 HAP était de 10,16±1,59 µg/m <sup>3</sup> dans les cuisines contre 7,91±1,47 µg/m <sup>3</sup> à l'extérieur des bâtiments. Les HAP à 2 ou 3 cycles étaient majoritaires. Le naphthalène était le plus présent avec une concentration moyenne de 9,87±1,54 µg/m <sup>3</sup> dans les cuisines et de 7,79±1,45 µg/m <sup>3</sup> à l'extérieur des bâtiments. Les concentrations moyennes en COVT étaient de 6,5±1,64 µg/m <sup>3</sup> dans les cuisines contre 6,19±1,48 µg/m <sup>3</sup> à l'extérieur des bâtiments. Les concentrations en PM <sub>1</sub> et PM <sub>2,5</sub> lors de la cuisson dans un bain d'huile étaient significativement supérieures aux concentrations en PM <sub>1</sub> et PM <sub>2,5</sub> lors de la cuisson avec peu d'huile.

<p>Navruz-Varli et <i>al.</i> ont mené une étude entre 2018 et 2019, sur 48 cuisiniers et 40 serveurs travaillant dans 5 restaurants de collectivité d'Ankara (Turquie) (Navruz-Varli et al. 2022).</p>	<p>Les auteurs ont mesuré les 16 HAP prioritaires de l'US EPA (gazeux et particulaires) et les COV (gazeux) dans l'air des cuisines.</p> <p>Les prélèvements d'HAP ont été réalisés avec un filtre en fibres de verre, puis analysés par GC-MS.</p>	<p>Le naphthalène est l'HAP le plus abondant de la phase gazeuse avec une concentration moyenne de <math>202,0 \pm 61,4</math> ng/m<sup>3</sup> suivi du benzo[a]pyrène <math>126,1 \pm 56,4</math> ng/m<sup>3</sup>, du fluoranthène <math>114,1 \pm 50,2</math> ng/m<sup>3</sup>, du phénanthrène <math>110,4 \pm 47,0</math> ng/m<sup>3</sup>, du pyrène <math>108,1 \pm 60,5</math> ng/m<sup>3</sup>, du fluorène <math>107,6 \pm 47,4</math> ng/m<sup>3</sup> et de l'acénaphthène <math>100,2 \pm 33,0</math> ng/m<sup>3</sup>.</p> <p>Le benzo[a]pyrène est l'HAP le plus abondant de la phase particulaire avec une concentration moyenne de <math>122,7 \pm 55,1</math> ng/m<sup>3</sup> suivi du benzo[b]fluoranthène <math>109,2 \pm 55,1</math> ng/m<sup>3</sup>, du fluoranthène <math>95,4 \pm 41,5</math> ng/m<sup>3</sup> et du benzo[k]fluoranthène <math>86,6 \pm 39,6</math> ng/m<sup>3</sup>.</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## 3.2.4 Données françaises

### 3.2.4.1 Base de données COLCHIC

La base de données COLCHIC de l'INRS a été interrogée pour extraire les niveaux d'exposition sur la période 1987-2021 relatifs aux 16 HAP prioritaires de l'US EPA. Concernant les expositions aux produits de décomposition thermique d'huiles et de graisses alimentaires, aucune mesure n'est disponible pour l'acénaphthylène (n° CAS : 208-96-8). Par ailleurs, cette extraction n'a pas apporté de résultats exploitables sur un plan quantitatif. En effet, le faible nombre de mesures disponibles (< 10 mesures) par substance et par tâche, ne permettait aucune exploitation statistique d'intérêt (concentrations minimale et maximale ainsi que moyennes et écart-types) et ne permettait pas d'avoir une représentativité des expositions. De plus, les données concernant les HAP émis lors de la décomposition thermique d'huiles et de graisses alimentaires ne permettent pas de distinguer s'il s'agit d'émissions lors de fritures ou d'autres procédés de cuisson ou de conservation d'aliments.

### 3.2.4.2 Typologie des populations exposées

Au regard de l'absence de données concernant spécifiquement les travailleurs exposés aux émissions de friture, les informations présentées dans cette partie concernent l'estimation du nombre de travailleurs dans le secteur de la restauration de façon générale.

Concernant l'enquête SUMER 2017 (Surveillance médicale des expositions des salariés aux risques professionnels), aucune information concernant le nombre de travailleurs exposés aux émissions de friture ou le nombre de travailleurs du secteur de la restauration exposés aux HAP n'a été identifiée.

Selon les données de l'INSEE issues du « Fichier localisé des rémunérations et de l'emploi salarié » (Flores), fin 2021, le secteur de la restauration employait 839 221 salariés et l'industrie alimentaire 572 345 salariés. Le nombre de travailleurs potentiellement exposés aux émissions de friture à hautes températures s'élèverait à 1 411 566.

Selon la nomenclature d'activité et de produits françaises<sup>40</sup>, la division de la « restauration » comprend les activités consistant à fournir des repas complets ou des boissons pour une consommation immédiate, qu'il s'agisse de restaurants traditionnels, de self-services, d'établissements proposant des plats à emporter, d'établissements permanents ou temporaires, avec ou sans places assises. Le critère décisif d'appartenance à cette division est le fait que les plats soient destinés à une consommation immédiate et non le type d'établissement qui les propose. Cette division ne comprend pas (1) la production de repas qui ne sont pas destinés à être consommés immédiatement ou de denrées alimentaires préparées qui ne sont pas considérées comme constituant un repas, (2) la vente de denrées alimentaires non produites par l'unité et qui ne sont pas considérées comme constituant un repas et (3) la vente de repas qui ne sont pas destinés à être consommés immédiatement.

La division « industries alimentaires » comprend la transformation des produits de la culture, de la sylviculture et de la pêche en aliments pour l'Homme ou l'animal et comprend également

---

<sup>40</sup> Nomenclatures d'activités et de produits françaises NAF [Insee.fr - Nomenclatures d'activités et de produits françaises NAF](https://www.insee.fr/fr/nomenclatures-d-activites-et-de-produits-francaises-NAF), consulté en janvier 2023

la production de divers produits intermédiaires non directement alimentaires. Cette division ne comprend pas la préparation de plats pour une consommation immédiate, comme dans les restaurants.

Les données mentionnées concernent le nombre d'employés du secteur de la restauration et des industries alimentaires sans différenciation des travailleurs exposés ou mettant en œuvre le procédé de friture des travailleurs non exposés.

### 3.2.5 Synthèse des données d'exposition

Lors de la friture, l'augmentation de la température favorise les transformations physiques et biochimiques de la matière grasse et des aliments, notamment la décomposition des esters d'acides gras des huiles ou des graisses en COV ou en COSV pouvant se condenser pour former des particules fines (PM<sub>2,5</sub>) et ultrafines (PM<sub>0,1</sub>) (IARC 2010a). En plus des particules fines et ultrafines (Wallace, Emmerich, et Howard-Reed 2004; Brauer et al. 2000; Schauer et al. 1998), une grande variété de composés organiques a été identifiée dans les émissions de friture notamment des HAP (Chiang, Wu, et Ko 1999), des aldéhydes (Schauer et al. 1998), des amines aromatiques (Chiang et al. 1999), de l'acrylamide (Hsu, Inbaraj, et Chen 2006).

La composition des émissions de friture varie selon :

- **le type de friture** (sauté à la poêle, friture à la poêle et friture profonde) : du fait de la quantité importante d'huile utilisée, la friture profonde émet plus de particules fines et ultrafines et d'HAP que le sauté à la poêle ou la friture à la poêle ;
- **la matière grasse utilisée** : le type de matière grasse utilisée influence plus fortement la composition chimique des émissions de friture que le type de friture, la qualité de la matière grasse influence aussi la composition en HAP des émissions ;
- **la température de friture** : l'augmentation de la température de la friture favorise les émissions de composés organiques volatils (Lin et al. 2007) ;
- **le temps de cuisson** : la friture longue favorise les émissions d'HAP ;
- **le type d'aliments frits** : la friture d'aliments riches en matière grasse favorise les émissions d'HAP ;
- **la source d'énergie utilisée pour la cuisson** : la cuisson au gaz est plus émettrice en particules ultrafines et en HAP que la cuisson électrique.

L'exposition des travailleurs aux HAP et aux particules des émissions de friture peut être réduite par l'installation d'un système d'extraction de fumées.

L'interrogation de la base de données COLCHIC pour accéder aux mesures d'exposition des travailleurs exposés aux HAP lors de la décomposition thermique d'huiles et de graisses alimentaires n'a apporté aucun résultat statistiquement exploitable, reflétant ainsi un manque de préoccupation en France pour les émissions de friture.

Les experts soulignent que les publications évaluant l'exposition des travailleurs aux HAP lors d'opérations de friture sont principalement menées en Asie, reflétant également plus globalement le peu de préoccupation pour les expositions professionnelles aux émissions de friture en Occident.

### 3.3 Evaluation du caractère cancérigène

#### 3.3.1 Rappel des données de cancérigénicité ayant conduit à la classification du CIRC (IARC 2010a)

##### 3.3.1.1 Données chez l'Homme, dans l'expertise du CIRC

D'après le CIRC, entre la fin des années 1970 et le milieu des années 2000, un total de 17 études cas-témoins ont exploré la relation entre l'exposition aux fumées de cuisson et le risque de cancer du poumon. Ces études ont été menées auprès de populations chinoises résidant en Chine, Taïwan et à Singapour. Elles ont permis de rechercher des facteurs de risque autres que le tabac dans l'étiologie du cancer du poumon chez les femmes chinoises qui sont pour la plupart non fumeuses (IARC 2010a).

L'évaluation des expositions aux pratiques de cuisson et aux fumées d'huiles de friture a fortement varié selon les études. Elle était principalement fondée sur les types d'huiles utilisées, les types de friture pratiqués, leur fréquence et les pratiques de cuisson, incluant la présence d'une cuisine séparée, la ventilation, ou la durée d'exposition.

Parmi les 17 études cas-témoins, douze n'ont inclus que des femmes, dont 7 uniquement des non fumeuses. Les 5 études restantes ont impliqué des hommes et des femmes, fumeurs ou non.

Pour étudier l'association entre les émissions d'huiles de cuisson et le risque de cancer du poumon, le groupe de travail du CIRC a considéré que les études étaient plus informatives lorsque les expositions liées à la cuisson et les expositions liées au combustible utilisé étaient différenciables, et lorsque les relations dose-effet entre le niveau d'exposition aux émissions de friture à hautes températures et le risque de cancer du poumon étaient examinées. Sur cette base, les 4 études cas-témoins considérées comme plus pertinentes sont résumées ci-dessous.

Yu et *al.* ont conduit une étude dans la région de Hong Kong, sur 200 cas de cancer du poumon confirmés histologiquement chez des femmes non-fumeuses et 285 femmes témoins appariées sur l'âge et sélectionnées de manière aléatoire parmi les résidents du quartier à partir de l'annuaire téléphonique (Yu et al. 2006). Ils ont étudié les effets sur le risque de cancer du poumon de la fréquence et de la durée d'exposition aux différents types de cuisson dans l'huile à hautes températures. En utilisant un indicateur composite (nombre de plats.années<sup>41</sup>) intégrant la fréquence d'exposition moyenne et le nombre d'années d'exposition, une relation dose-réponse avec le risque de cancer du poumon a été mise en évidence. Le risque de cancer du poumon était multiplié par 3 pour des expositions modérées à fortes (entre 151 et 200 plats.année) (OR<sup>42</sup> 3,09 ; IC 95 : 1,41-6,79) et multiplié par 8 pour les expositions les plus élevées (> 200 plats.années) (OR 8,09 ; IC 95 : 2,57-25,45), par rapport au groupe de femmes dont l'exposition était inférieure à 50 plats.années, et après ajustement sur l'âge, le niveau d'étude, le fait d'avoir ou non un emploi, les antécédents respiratoires personnels et les antécédents familiaux de cancer du poumon. Les excès de risque restaient statistiquement significatifs après ajustement complémentaire sur la pollution

<sup>41</sup>Dans cette étude, un plat.année correspond à la préparation d'un plat par jour pendant un an.

<sup>42</sup> OR : odds ratio ou rapport des cotes. Un OR est considéré comme non significatif lorsque son intervalle de confiance comprend 1 .

de l'air intérieur (radon, tabagisme passif, utilisation de bois ou de kérosène comme combustibles, utilisation domestique d'encens, utilisation de spirales insecticides). A exposition égale (en plats.années), le risque était plus élevé pour les expositions résultant de la friture profonde que pour celles résultant de la friture à la poêle et plus élevé pour ces dernières que pour celles résultant des émissions des plats sautés à la poêle. En revanche, le type d'huile utilisé et la présence d'une hotte aspirante n'avait pas d'effet sur le risque de cancer du poumon (Yu et al. 2006).

Gao et al. ont conduit une étude à Shanghai sur 672 cas de cancer du poumon féminins et 735 témoins sélectionnés de manière aléatoire dans l'annuaire téléphonique. Après ajustement sur l'âge, le niveau d'études et le tabagisme, le risque de cancer du poumon était augmenté chez les utilisatrices d'huile de soja comparées à celles qui employaient de l'huile de colza (OR 1,4 ; IC 95 % : 1,1-1,8). Le risque était plus élevé chez les femmes dont le domicile était enfumé lorsqu'elles cuisinaient. Une relation dose-réponse était observée pour la préparation de plats sautés (stir frying) : moins de 20 plats préparés par semaine (OR 1,0), entre 20 et 24 plats préparés par semaine (OR 1,2 ; IC 95 % : 0,9-1,5), entre 25 et 29 plats préparés par semaine (OR 1,2 ; IC 95 % : 0,8-1,9) et plus de 30 plats préparés par semaine (OR 2,6 ; IC 95 % : 1,3-5,0). Une relation dose-réponse était également observée pour la cuisson par friture profonde : 0 plat préparé par semaine (OR 1,0), 1 plat préparé par semaine (OR 1,5 ; IC 95 % : 1,0-2,1), 2 plats préparés par semaine (OR 1,6 ; IC 95 % : 0,8-3,2) et plus de 3 plats préparés par semaine (OR 1,9 ; IC 95 % : 0,5-6,8) (Gao et al. 1987).

Zhong et al. ont également conduit une étude à Shanghai. Elle a inclus 504 cas incidents de cancer du poumon féminins et 601 témoins (sélectionnés de manière aléatoire à partir du registre des habitants de Shanghai), après exclusion des participantes dont le tabagisme était supérieur à 1 cigarette par jour pendant 6 mois. Le risque de cancer du poumon était augmenté chez les femmes qui utilisaient l'huile de colza, plutôt que l'huile de soja pour leurs fritures (OR 1,84 ; IC 95 % : 1,12-3,02), chez celles qui utilisaient la friture profonde plus d'une fois par semaine (OR 1,88 ; IC 95 % : 1,06-3,32), chez celles qui préparaient de la friture à la poêle, plus d'une fois par semaine (OR 2,09 ; IC 95 % : 1,14-3,84) et chez celles dont la cuisine était enfumée lorsqu'elle préparaient des plats en friture (OR 1,64 ; IC 95 % : 1,24-2,17) (Zhong et al. 1999).

Métayer et al. ont conduit une étude dans la province de Guangzhou. Elle a inclus 233 cas de cancer du poumon féminins et 459 témoins qui ont été sélectionnés de manière aléatoire à partir du registre des habitants des préfectures de Pingliang et de Qingyang. Dans cette étude, le risque de cancer du poumon augmentait avec la fréquence de préparation de plats sautés dans l'huile : moins de 15 plats préparés par mois (OR 1,0), entre 15 et 29 plats préparés par mois (OR 1,25 ; IC 95 % : 0,5-2,9), 30 plats préparés par mois (OR 1,19 ; IC 95 % : 0,5-2,7) et plus de 30 plats préparés par mois (OR 2,16 ; IC 95 % : 0,8-6,0). Le risque augmentait également quand l'âge du début de l'exposition diminuait, avec la durée de l'exposition et avec le nombre moyen de plats frits quotidiennement (Metayer et al. 2002).

En résumé, le groupe de travail du CIRC a conclu que les résultats de ces quatre études en particulier montrent une association entre l'exposition (en termes de fréquence et de durée) aux émissions de friture à haute température et le risque de cancer pulmonaire. Ces études ont été effectuées dans différentes populations urbaines ou rurales chinoises, avec des caractéristiques, des pratiques de cuisson et des cofacteurs différents. Cependant, l'exposition concomitante aux fumées de combustible est un facteur de confusion qui n'est pas parfaitement contrôlé dans les 3 dernières études (Gao et al. 1987; Zhong et al. 1999; Metayer et al. 2002). En outre, les 4 études retenues sont des études cas-témoins pour lesquelles un biais de mémorisation peut en partie expliquer les résultats observés.



### 3.3.1.2 Données expérimentales et mécanistiques

Dans la monographie 95 du CIRC, deux études de cancérogenèse sur l'animal *in vivo* sont mentionnées. Dans ces études, des rats ou des souris ont été exposés (par inhalation corps entier) à des fumées de cuisson utilisant de l'huile de colza non raffinée. Dans l'étude de Zhang et al, des souris mâles et femelles ont été exposées à des fumées de cuisson à des concentrations de 9, 21 ou 39 mg/m<sup>3</sup> tous les jours pendant 30 minutes pendant deux mois, puis un jour sur deux pendant 6 mois, soit 150 expositions au total (Zhang, Chen, et Tan 2003). Dans l'étude de Long et al, les rats ont été exposés à des concentrations de 7, 15 ou 35 mg/m<sup>3</sup> pendant 30 minutes, un jour sur deux pendant 12,5 mois (Long et al. 2005). Une augmentation statistiquement significative de l'incidence des tumeurs pulmonaires, principalement des adénocarcinomes, a été rapportée dans ces deux études.

Concernant les données mécanistiques, de nombreuses études, mentionnées dans la monographie 95 du CIRC, ont montré que les fumées de friture avaient des effets génotoxiques clastogènes *in vivo* (induction de micronoyaux dans les cellules de la moelle osseuse chez le rat et la souris) et *in vitro* (induction d'aberrations chromosomiques, échanges de chromatides sœurs, induction de cassures des brins d'ADN et d'adduits à l'ADN dans des cellules de mammifères en culture), ainsi que des effets mutagènes *in vitro* sur des bactéries. De plus, les fumées de friture ont induit un stress oxydatif chez des animaux exposés aux fumées de cuisson ainsi qu'*in vitro*. Selon le groupe de travail du CIRC, les données mécanistiques montrent que les effets génotoxiques des fumées de friture sont probablement principalement dus aux HAP qu'elles contiennent et à la peroxydation lipidique (IARC 2010a).

### 3.3.1.3 Conclusion

L'évaluation du CIRC concerne les émissions de friture à hautes températures (sauté à la poêle, friture à la poêle et friture profonde). Les émissions provenant de méthodes de cuisson à basse température peuvent être considérablement différentes de celles étudiées dans ce cadre. Les données indiquent que les huiles de cuisson présentent un faible potentiel mutagène à des températures inférieures à 100°C alors qu'un fort potentiel mutagène est retrouvé pour des températures supérieures à 230°C.

Les 4 études épidémiologiques les plus informatives effectuées dans des populations chinoises montrent de façon cohérente une association entre les émissions issues de la friture à haute température et le risque de cancer pulmonaire. Ces résultats sont soutenus par les preuves des données expérimentales chez l'animal et les données de mutagénicité.

Aucune différence n'a pu être identifiée entre les 3 types de fritures étudiés lorsque ces modes de friture ont été étudiés séparément. D'autres méthodes de cuisson à haute température (par exemple, la cuisson au four) n'ont pas été incluses car le groupe de travail du CIRC a estimé que leurs émissions différaient considérablement de celles de la friture.

Le CIRC a considéré que les données épidémiologiques n'étaient pas suffisamment détaillées pour pouvoir faire la distinction entre les différentes huiles et les graisses de cuisson. Par ailleurs, les données animales disponibles ne portaient que sur l'huile de colza non raffinée bien que les données disponibles indiquent un potentiel mutagène plus élevé pour les graisses insaturées.

Les données épidémiologiques n'ont pas permis aux experts du CIRC d'attribuer la cancérogénicité à un composé chimique spécifique ou à une huile de cuisson seule. En effet, la cancérogénicité pourrait être liée à l'aliment cuit, au récipient de cuisson lui-même ou au combustible utilisé. Néanmoins, le CIRC considère qu'il pourrait être raisonnable d'attribuer un

certain risque cancérigène aux huiles de cuisson, car des données *in vivo* et *in vitro* indiquent que les émissions de certaines huiles chauffées à hautes températures sont mutagènes.

Sur ces bases, le CIRC a conclu en 2010 qu'il existe des preuves limitées chez l'Homme de la cancérigénicité des émissions provenant de la friture à haute température et des preuves suffisantes chez l'animal de laboratoire de la cancérigénicité des émissions de l'huile de colza non raffinée à hautes températures. Par conséquent, le CIRC a classé les émissions provenant de la friture à hautes températures comme probablement cancérigènes pour l'Homme (Groupe 2A) (IARC 2010a).

### 3.3.2 Actualisation des données de cancérigénicité

#### 3.3.2.1 Méthodologie

Le GT a réalisé une revue bibliographique afin d'actualiser les données épidémiologiques sur la cancérigénicité des émissions de friture à hautes températures du CIRC de 2010 (IARC 2010a).

Une recherche bibliographique a été réalisée en janvier 2023 sur les deux bases de données Scopus et PubMed pour identifier les publications parues après 2005, année correspondant à l'année précédant les études rapportées pour la cancérigénicité des émissions de friture à hautes températures dans la monographie 95 (IARC 2010a).

Les requêtes utilisées sont les suivantes :

**PubMed** : ((((((occupation\*[Text Word]) OR (workplace[Text Word])) OR (worker[Text Word])) AND ((((((("polycyclic aromatic hydrocarbons"[Text Word]) OR ("polyaromatic hydrocarbons"[Text Word])) OR ("polynuclear aromatic hydrocarbons"[Text Word])) OR (PAH[Text Word])) OR (BaP[Text Word])) OR (Benzo(a)pyrene[Text Word])))) AND ((((((fry\*[Text Word]) OR (stir-frying[Text Word])) OR (deep-frying[Text Word])) OR (pan-frying[Text Word])) OR (cooking[Text Word])) OR (kitchen[Text Word])))) AND ((((((tumor[Text Word]) OR (tumour[Text Word])) OR (neoplasm[Text Word])) OR (neoplasia[Text Word])) OR (cancer[Text Word])) OR (carcinogen\*[Text Word])))) Filters: from 2005 - 2023

**Scopus** : (TITLE-ABS-KEY(occupation\*) OR TITLE-ABS-KEY(workplace) OR TITLE-ABS-KEY(worker)) AND ((TITLE-ABS-KEY(fry\*) OR (TITLE-ABS-KEY(stir-frying)) OR (TITLE-ABS-KEY(stir-frying)) OR (TITLE-ABS-KEY(deep-frying)) OR (TITLE-ABS-KEY(pan-frying)) OR (TITLE-ABS-KEY(kitchen)) OR (TITLE-ABS-KEY(cooking))) AND ((TITLE-ABS-KEY("polycyclic aromatic hydrocarbons") OR (TITLE-ABS-KEY("polyaromatic hydrocarbons")) OR (TITLE-ABS-KEY("polynuclear aromatic hydrocarbons")) OR (TITLE-ABS-KEY(pah)) OR (TITLE-ABS-KEY(bap)) OR (TITLE-ABS-KEY("Benzo(a)pyrene")))) AND (TITLE-ABS-KEY(tumor) OR TITLE-ABS-KEY(tumour) OR TITLE-ABS-KEY(neoplasm) OR TITLE-ABS-KEY(neoplasia) OR TITLE-ABS-KEY(cancer) OR TITLE-ABS-KEY(carcinogen\*)) AND PUBYEAR > 2004 AND PUBYEAR < 2023

Ce travail a permis d'identifier 60 publications dont 3 ont été jugées d'intérêt pour l'évaluation de la cancérigénicité.

De ce fait, une seconde recherche bibliographique a été effectuée en septembre 2023 sur les mêmes bases de données (Scopus et PubMed) et sur la même période (à partir de 2005) mais en utilisant des requêtes différentes :

**PubMed** : (((cancer[Text Word]) OR (tumor[Text Word])) AND ((oil[Text Word]) OR (fat[Text Word])) AND ((frying[Text Word]) OR (fume\*[Text Word]))) Filters: from 2005 - 2023

**Scopus** : (TITLE-ABS-KEY (cancer) OR TITLE-ABS-KEY (tumor)) AND (TITLE-ABS-KEY (oil) OR TITLE-ABS-KEY (fat)) AND (TITLE-ABS-KEY (frying) OR TITLE-ABS-KEY (fume\*)) AND PUBYEAR > 2004 AND PUBYEAR < 2023

Cette deuxième requête a permis d'identifier 287 publications dont 9 ont été jugées d'intérêt pour l'évaluation de la cancérigénicité.

Ainsi, 12 publications, publiées après la monographie 95 du CIRC ont été analysées afin d'évaluer la cancérigénicité des émissions de friture à hautes températures.

### 3.3.2.2 Analyse des données

Depuis la monographie du CIRC, sont parues dans la littérature deux méta-analyses (Xue et al. 2016; Jia et al. 2018), deux études de cohorte (Lin et al. 2019, Lin et al. 2021) et huit études cas-témoins (C. Lee et al. 2010; Y. Lin et Cai 2012; Lo et al. 2013; Y.-Q. He et al. 2015; B. He et al. 2016; Liang et al. 2019; Chen et al. 2020; Moayedi-Nia et al. 2022) portant sur différentes localisations de cancer. Les publications résumées ci-dessous sont présentées en fonction du cancer considéré. Les principaux résultats des études cas-témoins sont présentés dans le tableau 18 et ceux des études de cohorte dans le tableau 19.

#### 3.3.2.2.1 *Cancer broncho-pulmonaire*

Le risque de cancer du poumon associé à une exposition aux émissions des fritures à haute température a été étudié dans cinq études cas-témoins (Y. Lin et Cai 2012; Lo et al. 2013; Liang et al. 2019; Chen et al. 2020; Moayedi-Nia et al. 2022), une étude de cohorte (P.-C. Lin et al. 2019). Deux méta-analyses ont également été publiées (Xue et al. 2016; Jia et al. 2018).

##### ❖ Etudes cas-témoins

Lin et Cai ont conduit une étude cas-témoins hospitalière sur les facteurs de risque alimentaires et environnementaux du cancer du poumon chez les femmes dans la province chinoise de Fujian. Le groupe des cas incluait 226 femmes diagnostiquées avec un cancer confirmé histologiquement dans des hôpitaux de la région. Le groupe témoin incluait 269 femmes appariées sur l'âge, sans lien de parenté avec les cas, et sélectionnées parmi les visiteurs des hôpitaux résidant dans la province du Fujian. Les informations sur les caractéristiques socio-démographiques, les antécédents familiaux de cancer, l'alimentation, les facteurs reproductifs et hormonaux, les habitudes de vie ont été recueillies par questionnaire lors d'un entretien. Une question permettait de classer les femmes en fonction de l'intensité de l'exposition aux huiles de cuisson : non exposées, faiblement exposées, moyennement exposées, ou fortement exposées. Les résultats indiquaient une augmentation non linéaire de l'OR avec le niveau d'exposition estimé, après un ajustement sur l'âge et le niveau d'éducation (Tableau 18) (Y. Lin et Cai 2012). Les experts considèrent que cette étude confirme l'existence d'un lien entre l'exposition aux fumées d'huiles de cuisson et le cancer du poumon chez les femmes chinoises.

Lo et al. ont conduit une étude cas-témoins hospitalière à Taïwan sur les facteurs de risque de cancer du poumon chez des individus non-fumeurs (hommes et femmes). Parmi les différents facteurs analysés, l'exposition aux fumées de cuisine a été étudiée chez les femmes. Le groupe de cas incluait 1 219 femmes et le groupe témoins 1 221 femmes. Ces personnes

ont été sélectionnées parmi les patients des départements réalisant les examens de santé dans les hôpitaux de la région, appariées sur l'âge, le sexe et l'origine ethnique et sans diagnostic de cancer. Les informations sur les caractéristiques démographiques (âge, ethnie, statut marital et le niveau d'éducation), le tabagisme, les facteurs reproductifs et hormonaux, les antécédents familiaux de cancer du poumon ou de maladies respiratoires et les habitudes de cuisine ont été recueillies par questionnaire lors d'un entretien. L'habitude de cuisiner, définie comme faire la cuisine pendant au moins 6 mois de façon continue, ne montre pas de différence entre les cas et les témoins (OR ajusté 0,84 ; IC 95 % : 0,63-1,13, après un ajustement sur l'âge et le niveau d'éducation). La dose cumulée d'exposition aux fumées de cuisson (temps de cuisine-années) a été calculée en multipliant la durée d'exposition aux fumées de cuisine (en années) par la fréquence quotidienne de cuisson (moyenne du nombre de cuisson par jour) ; une différence significative n'apparaît que pour la catégorie la plus élevée (OR ajusté 1,78 ; IC 95 % : 1,14-2,78, après un ajustement sur l'âge et le niveau d'éducation). La présence d'un extracteur dans la cuisine des femmes ayant l'habitude de cuisiner réduisait le risque (OR ajusté 0,57 ; IC 95 % : 0,35-0,94, après un ajustement sur l'âge et le niveau d'éducation) (Lo et al. 2013). Les experts soulignent que cette étude ne donne pas d'indication sur les méthodes de cuisson et les sources d'énergie utilisées.

Liang et al. ont conduit une étude cas-témoins multicentrique dans le nord de la Chine dans le but d'étudier les facteurs de risque de cancer du poumon chez des non-fumeurs. Le groupe de cas incluait 1 086 patients, atteints de cancer du poumon primitif, recrutés dans 5 centres hospitaliers dont 3 situés dans des zones de pollution atmosphérique fréquente. Le groupe de témoins incluait 2 172 patients des hôpitaux sans maladies pouvant influencer le système pulmonaire, sans antécédents de cancer pulmonaire, appariés sur l'âge et le sexe. Les cas et les témoins étaient non-fumeurs (c'est à dire n'ayant jamais fumé, ou fumé moins de 100 cigarettes au cours de leur vie, ou ayant cessé de fumer depuis plus de 15 ans). Les informations personnelles, les habitudes de vie et les antécédents médicaux ont été recueillis par questionnaire. Parmi les nombreux facteurs étudiés (emplois, style de vie, nutrition, tabagisme passif, antécédents personnels et familiaux), l'exposition aux fumées d'huile de cuisson a été catégorisée comme absente, normale ou au-dessus de la moyenne. Elle apparaît comme un facteur de risque significatif en analyse multivariée pour une exposition normale (OR 1,59 ; IC 95 % : 1,18-2,13) et supérieure à la moyenne (OR 1,70 ; IC 95 % : 1,22-2,38) par rapport aux non exposés (Liang et al. 2019).

Chen et al. ont conduit une étude cas-témoins (sous-étude d'une étude d'épidémiologie génétique des facteurs de risque de cancer du poumon) à Taïwan, incluant 1 302 femmes d'ethnie Han atteintes d'un cancer du poumon (en majorité du type adénocarcinome) et non fumeuses, recrutées entre 2002 et 2010 dans 6 hôpitaux et 1 302 témoins hospitaliers appariés. Ces derniers ont été sélectionnés de manière aléatoire parmi les personnes ayant bénéficié d'examens physiques complets dans les départements réalisant les examens de santé des différents hôpitaux. Les informations personnelles, les habitudes de cuisine et les antécédents médicaux ont été recueillis par questionnaire rempli lors d'un entretien. Pour étudier la relation entre l'exposition cumulée aux fumées d'huiles de friture et le risque de cancer du poumon, un index temps de cuisson-années (somme des moyennes du nombre de cuissons quotidiennes et du nombre total d'années de cuisson) a été calculé. Un autre index relatif à l'utilisation d'un extracteur de fumées (rapport entre le nombre d'années d'utilisation d'un extracteur de fumée et le nombre total d'années de cuisson) a été calculé pour évaluer l'impact de l'utilisation d'un extracteur de fumées sur le risque de cancer du poumon. Une association entre l'exposition aux fumées de cuisson et le risque de cancer du poumon a été observée en fonction de l'index d'exposition cumulée (Tableau 18). Il a été démontré que l'utilisation régulière d'un extracteur

de fumées réduisait de près de moitié le risque (Tableau 18). Cette étude fournit également des indications sur le risque associé à la méthode de cuisson : les utilisations fréquentes de la cuisson à la poêle (OR ajusté 1,53 ; IC 95 % : 1,23-1,89, après un ajustement sur l'âge, le niveau d'éducation, les expositions professionnelles, les antécédents familiaux et médicaux) et de saindoux (OR ajusté 1,92 ; IC 95 % : 1,04-3,75, après un ajustement sur l'âge, le niveau d'éducation, les expositions professionnelles, les antécédents familiaux et médicaux) étant significativement associées à une augmentation du risque de cancer du poumon (Chen et al. 2020).

Dans une étude cas-témoins au sein de la cohorte CARTaGENE, incluant des participants recrutés au Québec et suivis entre 2009 et 2016, Moayedi-Nia et al. ont examiné le risque de cancer du poumon en lien avec diverses expositions professionnelles. Les cas incluaient 147 patients atteints d'un cancer du poumon incident et 1 032 sujets représentatifs de l'ensemble de la population d'étude et constituant la sous-cohorte. Les expositions professionnelles ont été évaluées à l'aide de la matrice emplois-expositions CANJEM sur la base de la profession la plus longue exercée par chacun des sujets. Après ajustement sur l'âge, le tabac actif et passif, les antécédents familiaux de cancer du poumon et l'exposition professionnelle aux cancérigènes pulmonaires reconnus, l'OR ajusté associé à l'exposition aux fumées de cuisine par rapport aux non exposés était de 2,92 (IC 95 % : 1,33-6,42) pour l'ensemble des participants et de 3,65 (IC 95 % : 1,33-10,07) pour les femmes (Moayedi-Nia et al. 2022). Les experts soulignent que l'évaluation de l'exposition professionnelle basée sur la matrice emploi-exposition comporte des incertitudes et doit être interprétée avec prudence et que l'exposition aux fumées de cuisson ne ciblait pas spécifiquement les fumées d'huiles de friture.

#### ❖ Etudes de cohorte

Lin et al. ont exploité les registres nationaux taïwanais de certification des cuisiniers, de cancers et de décès dans le but d'étudier le risque de cancer du poumon chez les chefs cuisiniers de Taïwan exposés aux fumées d'huiles de friture. Des chefs cuisiniers âgés de 15 ans et plus, certifiés entre 1984 et 2007, ont été identifiés, à partir du registre de certification distinguant le type de cuisine chinoise ou non-chinoise. Au total, 379 275 chefs (119 825 hommes et 259 450 femmes), exempts de cancer à la date de certification ont été identifiés. Les cas incidents de cancer du poumon, tous types histologiques confondus et adénocarcinome, dans cette population, a été recherchée dans le registre national des cancers, pour la période 1979-2010 (avec une période de latence de 2 ans après la date de certification) et dans le registre national des décès (1985-2011). Le rapport des incidences (IRR) de cancers dans le groupe des chefs de cuisine chinoise (groupe exposé) a été calculé par rapport à celle du groupe de chefs de cuisine non-chinoise (groupe de référence), après un ajustement sur l'âge et le sexe. Cette étude indique que les chefs de cuisine chinoise avaient une augmentation du risque de cancer du poumon (toutes variétés confondues et incluant l'adénocarcinome pulmonaire) (IRR<sup>43</sup> ajusté 2,12 ; IC 95 % : 1,32-3,40). Cette augmentation était plus marquée pour les femmes chefs certifiées depuis plus de 5 ans (IRR ajusté 4,73 ; IC 95 % : 1,74-2,86). Lorsque l'analyse est limitée au seul adénocarcinome pulmonaire, une augmentation significative du risque est observée chez les chefs de cuisine chinoise certifiés depuis de 5 ans (IRR ajusté 2,26 ; IC 95 % : 1,24-4,10) et les femmes en particulier (IRR ajusté 5,08 ; IC 95 % : 1,60-16,09) (P.-C. Lin et al. 2019). Les experts notent que, dans cette étude, il n'y a pas d'information sur le statut fumeur des participants identifiés dans la base de données, bien que les auteurs mentionnent que le taux de fumeurs est

<sup>43</sup> IRR : ratio du taux d'incidence ou incidence rate ratio en anglais

relativement faible chez les femmes à Taïwan. En outre, il n'y a pas de groupe de référence non exposé : les chefs de cuisine non chinoise pouvant être aussi exposés aux fumées de cuisson.

#### ❖ Méta-analyses

La méta-analyse de Xue et *al.*, basée sur 13 études cas-témoins, évalue l'association entre l'exposition aux fumées d'huiles de friture et le risque de cancer du poumon chez les femmes chinoises non-fumeuses. Les études considérées sont des études cas-témoins en population (3 études) ou hospitalières (10 études), publiées en anglais ou en chinois. Le méta-OR associé à l'exposition aux huiles de friture était de 1,74 (IC 95 % : 1,57-1,94, basé sur 10 études) et le méta-OR pour l'exposition sans ventilation dans la cuisine était de 2,11 (IC 95 % : 1,54-2,89, basé sur 4 études). L'analyse par « funnel plot »<sup>44</sup> ne révélait pas de signe de biais de publication (Xue et al. 2016).

Jia et *al.* ont conduit une méta-analyse sur le risque de cancer du poumon chez des cuisiniers adultes en relation avec l'exposition aux fumées d'huiles de cuisson, basée sur 23 études (2 cohortes rétrospectives et 21 études cas-témoins) et incluant 9 411 cas de cancer du poumon. Deux des études incluses étaient canadiennes, les 21 autres étaient chinoises. Quatre études ont étudié la relation entre les émissions de friture et le cancer du poumon chez les hommes (méta-OR 1,15 ; IC 95 % : 0,71-1,87). Vingt-deux études ont étudié la relation entre les émissions de friture et le cancer du poumon chez les femmes. Pour les 10 études incluant exclusivement des femmes non-fumeuses, le méta-OR était de 1,98 (IC 95 % : 1,54-2,54) et pour 10 études incluant une population en partie fumeuse (6 de ces 10 études ajustant sur le tabagisme) le méta-OR était de 2,00 (IC 95 % : 1,46-2,74). Huit études ont étudié la relation entre la ventilation des locaux et le risque de cancer du poumon : le méta-OR pour une mauvaise ventilation était de 1,20 (IC 95 % : 1,10-1,31). Enfin, 7 études ont étudié la relation entre la méthode de cuisson et le risque de cancer du poumon : les résultats suggèrent que le sauté à la poêle (avec une petite quantité de matière grasse dans une poêle chaude) est associé à une augmentation du risque de cancer du poumon par comparaison avec des personnes n'ayant pas d'activité de cuisson (méta-OR 1,89 ; IC 95 % : 1,23-2,90, sur 5 études) mais sans que cela ait été observée lors d'une friture profonde (méta-OR 1,41 ; IC 95 % : 0,87-2,29, sur 6 études). Les analyses de sensibilité suggèrent que les résultats sont stables (Jia et al. 2018).

#### 3.3.2.2 *Cancers sur d'autres organes*

Des études décrivent également que les expositions aux émissions de friture à hautes températures sont aussi associées à des cancers sur d'autres organes : le cancer du col de l'utérus (C. Lee et al. 2010), le cancer nasopharyngé (Y.-Q. He et al. 2015), le cancer de la cavité buccale (B. He et al. 2016), le cancer colorectal et le cancer du sein (P.-C. Lin et al. 2021).

---

<sup>44</sup> Un "funnel plot" est un graphique représentant les estimations des grandeurs d'effet, c'est à dire l'estimation du degré de relation entre l'exposition aux émissions de friture à hautes températures et le risque de cancer du poumon, tirées de chaque étude en fonction de la taille de l'échantillon de chaque étude. Un nuage de points symétrique (forme "d'entonnoir" indique l'absence de biais de publication, tandis qu'un nuage de points asymétrique indique la présence d'un biais de publication (Laroche 2007).

### ❖ Lésions précancéreuses du col de l'utérus

Lee et al. ont mené une étude cas-témoins à Taïwan et ont testé l'association entre l'exposition aux fumées d'huiles de friture et la présence de lésions néoplasiques intraépithéliales du col de l'utérus. Cette étude était motivée par des observations antérieures montrant que le tabac et des composés similaires à ceux des fumées de friture étaient associés à un risque accru de cancérogenèse cervicale. Les participantes étaient les femmes de 20 à 75 ans ayant eu un frottis cervical lors d'une campagne de dépistage du cancer du col à Taiwan entre 2003 et 2008. Les cas incluaient les femmes présentant des lésions malpighiennes intra-épithéliales classées en lésions malpighiennes intra-épithéliales de bas grade (LGSIL, 206 femmes) ou lésions malpighiennes intra-épithéliales de haut grade (HGSIL, 73 femmes). Les témoins (1 200 femmes) étaient sélectionnés parmi les femmes participant à la campagne de dépistage n'ayant jamais eu de lésions intra-épithéliales et étaient appariées aux cas sur le district de résidence, la période du frottis et l'âge. Un questionnaire sur les caractéristiques socio-démographiques, les pratiques culinaires, la ventilation dans la cuisine, les professions exercées et des variables de confusion potentielles a été réalisé en face-à-face pour chacun des sujets. La charge en ADN HPV du frottis était également déterminée. Les femmes travaillant dans des cuisines mal ventilées considérées comme les plus exposées aux fumées d'huiles de friture avaient un OR ajusté de 3,7 ; IC 95 % : 1,3-10, 4 pour le HGSIL, après un ajustement sur les facteurs de confusion (tabac en paquets.années, éducation, charge HPV, statut marital, âge de début des relations sexuelles). Aucune association n'était observée pour le LGSIL (OR ajusté 0,5 ; IC 95 % : 0,1-2,4). Ces résultats étaient confirmés dans les analyses restreintes aux femmes n'ayant jamais fumé (C.Lee et al. 2010). Les experts notent que cette étude tend à confirmer l'hypothèse selon laquelle l'exposition aux fumées d'huiles de friture favorise la cancérogenèse des tumeurs du col de l'utérus. Les experts soulignent que le manque d'effectif dans la catégorie des HGSIL ne permet pas d'approfondir l'étude de la relation entre les caractéristiques culinaires et les lésions pré-cancéreuses du col utérin.

### ❖ Cancer nasopharyngé

He et al. ont conduit une étude cas-témoins hospitalière sur le cancer nasopharyngé dans la région de Guangdong en Chine, connue pour avoir une incidence élevée de ce cancer. Les auteurs se sont intéressés à quatre sources d'exposition aux polluants de l'air intérieur, à savoir la combustion de bâtonnets d'encens, de serpentins anti-moustique ou de bois de chauffage, et les fumées d'huiles de cuisine. Le groupe des cas incluait 1 845 patients atteints de cancer nasopharyngé confirmés histologiquement et diagnostiqués dans un grand centre de traitement du cancer (Sun Yat-Sen University Cancer Center) et 2 275 témoins sélectionnés parmi les patients consultant le centre d'examen physique des hôpitaux de la région. Les informations sur les caractéristiques démographiques, le tabagisme, les habitudes de vie pouvant exposer à des polluants de l'air intérieur ont été recueillies par questionnaire lors d'un entretien. Aucune association n'a été observée entre le développement d'un cancer nasopharyngé et le fait de cuisiner quotidiennement (OR ajusté 1,04 ; IC 95 % : 0,87-1,23, après un ajustement sur l'âge, le sexe, le tabac, des facteurs alimentaires) (Y.-Q. He et al. 2015). Les experts notent que le questionnaire porte sur la fréquence à laquelle les sujets cuisinent, et non pas directement sur l'exposition aux fumées d'huiles de friture. Le manque de précision dans l'évaluation de l'exposition a pu masquer les associations entre l'exposition aux huiles de friture et le risque de cancer nasopharyngé.

#### ❖ Cancer de la cavité buccale

He et al. ont conduit une étude cas-témoins pour évaluer les effets de l'exposition aux fumées de cuisson sur le risque de cancer de la cavité buccale chez des femmes chinoises de 20 à 80 ans. Cette étude a inclus 238 cas incidents et 470 témoins hospitaliers (appariés sur l'âge et l'ethnie et sélectionnés parmi les patients souffrant d'affections aiguës non néoplasiques hospitalisés ou ambulatoires du même hôpital). Les informations sur les caractéristiques démographiques, les antécédents familiaux, le tabagisme et l'exposition à des fumées d'huile de cuisson ont été recueillies par questionnaire lors d'un entretien. Les résultats indiquaient une augmentation significative du risque de cancer de la cavité buccale avec l'exposition à des fumées d'huile de cuisson (après un ajustement sur le tabagisme, l'âge, le niveau d'éducation, la masse corporelle, le statut marital, le lieu de résidence et l'alcoolisme) : pour une exposition faible (OR ajusté 1,69 ; IC 95 % : 1,03-2,78) et pour une exposition forte (OR ajusté 2,06 ; IC 95 % : 1,21-3,50). De plus, l'utilisation de charbon ou de bois comme combustible apparaissait aussi comme un facteur de risque (OR ajusté 1,65 ; IC 95 % : 1,01-2,70, après un ajustement sur le tabagisme, l'âge, le niveau d'éducation, la masse corporelle, le statut marital, le lieu de résidence et l'alcoolisme) (B. He et al. 2016).

#### ❖ Cancer colorectal et du sein

Lin et al. ont exploité les registres nationaux taïwanais de certification des cuisiniers, de cancers et de décès dans le but d'étudier le risque de cancer colorectal et de cancer du sein chez les chefs cuisiniers de Taïwan exposés aux fumées d'huile de friture. Des chefs cuisiniers âgés de 15 ans et plus, certifiés entre 1984 et 2007, ont été identifiés à partir du registre de certification distinguant le type de cuisine chinoise ou non-chinoise. 379 275 chefs (119 825 hommes et 259 450 femmes), exempts de cancer à la date de certification ont ainsi été identifiés. L'incidence de cancer colorectal et de cancer du sein dans cette population a été recherchée dans le registre national des cancers, pour la période 1979-2010 (avec une période de latence de 2 ans après la date de certification), et dans le registre national des décès (1985-2011). Le rapport des incidences (IRR) de cancers dans le groupe des chefs préparant de la cuisine chinoise (groupe exposé) a été calculé par rapport à celle du groupe de chefs non-chinois (groupe de référence), après un ajustement sur l'âge et le sexe. Les chefs de cuisine chinoise avaient un risque de cancer colorectal plus élevé (IRR ajusté 1,65 ; IC 95 % : 1,17-2,44), d'autant plus pour les femmes chefs certifiées depuis plus de 5 ans (IRR ajusté 2,39 ; IC 95 % : 1,38-4,12). S'agissant du cancer du sein, le risque était significatif pour les femmes chefs de cuisine chinoise (IRR ajusté 1,40 ; IC 95 % : 1,10-1,78), en particulier pour les chefs certifiés depuis plus de 5 ans (IRR ajusté 1,74 ; IC 95 % : 1,37-2,22) (P.-C. Lin et al. 2021). Les experts notent que dans cette étude, le groupe de référence n'est probablement pas totalement non exposé aux fumées de friture et qu'il n'y a pas d'information sur le statut de fumeur dans la population d'étude.



Tableau 18 : Principaux résultats des études cas-témoins publiées après la monographie du CIRC de 2010

Référence, lieu d'étude, période	Caractéristiques des cas, confirmation histologique (HC), type cellulaire (%)	Caractéristiques des témoins	Collecte des données, Taux de réponse	Catégories d'exposition	Nb. de cas	Risque relatif ajusté (IC 95%)	Ajustement	Commentaires (covariables considérées)
<b>Cancer du poumon</b>								
Lin et al. (2012), Chine (Fujian)	226 cas de cancer du poumon chez des femmes, HC recrutement hospitalier	269 femmes appariées sur l'âge, recrutées parmi les visiteurs des hôpitaux	Questionnaire en face-à-face	<i>Intensité de l'exposition aux huiles de cuisson</i>			Education, âge, extracteur de fumées, et tabac passif	
				Non exposé	21	1,00 (réf.)		
				Faible	134	3,56 (2,00-8,27)		
				Moyen	51	2,05 (1,10-3,84)		
				Fort	10	2,91 (1,02-8,27)		
Lo et al. (2013), Taïwan, 2002-2009	1 219 femmes de l'ethnie Han n'ayant jamais fumé, cancer du	1 221 témoins hospitaliers, appariés sur sexe, âge ( $\pm 2$ ans), éducation	Interviews standardisés, 94%	<i>Habitude de cuisiner</i>			Age, nb d'années d'études	Pas d'indication du mode de cuisson, ni du
				Non	127	1,00 (réf.)		
				Oui	1092	0,84 (0,63-1,13)		

	poumon primitif (79,85% adénocarcinome), recrutées dans 6 hôpitaux 18 ans et +			<i>Index temps de cuisson/années (Moy nb cuissons /j x années de cuisson)</i>				combustible utilisé
				<20	105	1,00 (réf.)		
				20-39	175	1,31 (0,90-1,89)		
				40-74	256	1,13 (0,79-1,62)		
				75-143	392	1,14 (0,79-1,63)		
				≥144	143	1,78 (1,14-2,78)		
				<i>Extracteur de fumée dans la cuisine</i>				
				Non	51	1,00 (réf.)		
				Oui	1040	0,57 (0,35-0,94)		
Liang et al. (2019), Nord de la Chine, 2015-2017	1 086 (690 femmes et 396 hommes) cas de cancer du poumon primitif, recrutés dans 5 centres hospitaliers (dont 3 situés	2 172 (1380 femmes et 792 hommes) témoins hospitaliers recrutés dans les mêmes centres, appariés sur	Interviews standardisés	<i>Exposition aux fumées d'huile de cuisson</i>			Régression logistique conditionnelle pour les facteurs de risque avec p<0,10 en	ORs significatifs chez les femmes.
				Pas de fumée	98	1 (réf.)		
				Normale	720	1,59 (1,18-2,13)		
				> Moyenne	268	1,70 (1,22-2,38)		

	dans des localités en zones de pollution atmosphérique	sexe, âge (±5 ans)		<i>Exposition aux fumées d'huile de cuisson en atmosphère polluée</i>			analyse univariée.	
				Normale		2,02 (1,44-2,83)		
				> Moyenne		2,23 (1,52-2,28)		
Chen et al. (2020), Taïwan, 2002-2010	1 302 femmes de l'ethnie Han non-fumeuses (de plus de 18 ans), cancer du poumon primitif, recrutées dans 6 hôpitaux (84,6% adénocarcinome)	1 302 femmes témoins hospitalisés appariés sur sexe, âge (±5 ans), tabac, éducation	Interviews standardisés	<i>Index temps de cuisson/années (<math>\Sigma</math> nb cuissons / j x années de cuisson)</i>			Age, éducation, cancer du poumon chez parents, tabagisme passif, traitements hormonaux, statut de ménagère, Antécédent de chef cuisinière.	
				<10	143	1 (réf.)		
				11-60	374	1,63 (1,20-2,23)		
				61-110	338	1,67 (1,12-2,49)		
				111-160	197	2,14 (1,19-3,90)		
				>160	57	3,17 (1,34-7,68)		

				<i>Index utilisation d'extracteur de fumés (années utilisation/années de cuisson)</i>				
				Court (0-0,33)	107	1 (réf.)		
				Moyen (0,34-0,66)	226	0,66 (0,42-1,01)		
				Long (0,67-1)	510	0,39 (0,32-0,76)		
				<i>Exposition aux fumées de cuisine</i>				
				Non exposé	69	1,00 (réf.)		
				Expo incertaine	66	0,98 (0,67-1,44)		
				Exposé	12	2,92 (1,33-6,42)		
				<i>Exposition aux HAP</i>				
				Non exposé	7	1,00 (réf.)		
				Expo incertaine	120	1,14 (0,48-2,70)		
				Exposé	8	0,88 (0,30-2,65)		
Moayedini et al. (2022), Canada (Québec), 2009-2016	147 cas de cancer du poumon incident	1 032 témoins représentatifs de l'ensemble de la cohorte	Matrice emplois-expositions CANJEM croisée avec la profession des sujets				Sexe, âge, tabac, tabac passif, antécédents familiaux de cancer du poumon, expositions aux cancérigènes pulmonaires	Evaluation de l'exposition par matrice emploi-exposition peu précise ; fumées de cuisine non spécifique des fumées d'huiles de friture
Autres cancers								

Lee et <i>al.</i> (2010), Taiwan	Lésions intraépithéliales du col de l'utérus chez des femmes de 20 à 75 ans : Bas grade : 206 Haut grade : 73	Femmes participant à une campagne de dépistage du col de l'utérus sans lésion : N=1 200 appariées aux cas sur âge, lieu de résidence, période du frottis	Questionnaire	<i>Ventilation des fumées dans la cuisine (ayant cuisiné entre 20 et 40 ans)</i>						
					<u>Lésions de bas grade</u>	<u>Lésions de haut grade</u>	<u>Lésions de bas grade</u>	<u>Lésions de haut grade</u>		
				Bonne	118	42	1,0 (réf.)	1,00 (réf.)		
				Médiocre	9	11	1,1 (0,4-2,6)	3,7 (1,3-10,4)		
He et <i>al.</i> (2015), Chine (Guangdong)	1 845 cas de cancer nasopharyngé, HC, diagnostiqués dans un centre de traitement du cancer	2 275 témoins patients non cancéreux consultant dans des hôpitaux généraux de la région	Questionnaire	<i>Utilisation de bâtonnets d'encens</i>			Age, sexe, éducation, type d'habitation, tabac, consommation de poisson salé, légumes en conserve, thé, tisane, antécédents familiaux	Interaction entre tabac et bâtonnets d'encens détectée		
				Non	287				1,00 (réf.)	
				Parfois	405				1,03 (0,83-1,27)	
				Souvent	1 130				1,73 (1,43-2,09)	
				<i>Utilisation de poêle à bois</i>						
Non	585		1,00 (réf.)							

				Oui	1 260	1,95 (1,65-2,31)			
				<i>Habitude de cuisine</i>					
				Jamais	862	1,00 (réf.)			
				Parfois	266	0,95 (0,77-1,17)			
				Tous les jours	712	1,04 (0,87-1,23)			
He et al. (2016), Chine (Fujian), 2010-2015	238 femmes (entre 20 et 80 ans), cas incidents hospitaliers, cancers de cavité buccale histologiquement confirmés	470 femmes témoins hospitaliers appariés sur ethnie, âge (±5 ans)	Interviews standardisés	<i>Exposition au tabagisme passif</i>			Régression logistique, exposition fumées de cuisson ou tabagisme passif, tabac, alcool et variables socio-démographiques	Ensemble des cancers de cavité buccale (langue, palais, gencives)	
				Avant 18 ans	18	22			2,12 (1,11-4,07)
				Après 18 ans	18	56			1,52 (1,01-2,31)
				Avant + après 18 ans	+	49			2,38 (1,47-3,85)
				<i>Intensité des fumées d'huile</i>					
				Faible		129			1,69 (1,03-2,78)
				Forte		83			2,06 (1,21-3,50)

				<i>Source d'énergie utilisée</i>				
				Gaz naturel	131	1 (réf.)		
				Charbon et bois	41	1,65 (1,01-2,70)		
				Electricité	66	0,97 (0,67-1,40)		
				<i>Interaction tabagisme passif/fumées d'huile de cuisson</i>				
				TP fumées faible	70	2,55 (1,35-4,80)		
				TP fumées forte	49	3,19 (1,60-6,34)		

Tableau 19 : Principaux résultats des études de cohorte publiées après la monographie du CIRC de 2010

Référence, lieu d'étude, période	Caractéristiques de la population exposée (Nb. de cas)	Caractéristiques De la population de référence (Nb. de cas)	Collecte des données, Taux de réponse	Catégories d'exposition	Risque relatif (IC 95%) Chefs certifiés cuisine chinoise				Ajustement	Commentaires	
					<i>Cancer du poumon</i>						
				Années depuis certification	Femmes	Hommes	Total	Catégorie d'âge (15–39, 40–59 et ≥ 60 ans) et sexe			
Lin et al. (2019), Taïwan, 1984- 2011	Cuisiniers certifiés cuisine chinoise, identifiés sur registre professionnel et indemnes de cancer à la date de certification <i>Cancer du poumon</i>	Cuisiniers certifiés cuisine non- chinoise, identifiés sur registre professionnel et indemnes de cancer à la date de certification <i>Cancer du poumon</i>	Registre national des cancers , Registre national des décès	≤ 5 ans	1,61 (0,58-4,51)	0,36 (0,18- 0,72)	0,66 (0,39 - 1,10)			La population de référence (chefs de cuisine non chinoise) est probablement aussi exposée aux fumées de friture.	
				> 5 ans	4,73 (1,74-2,86)	1,42 (0,82- 2,48)	2,12 (1,32 - 3,40)				



	F 231 270 (214) H 99 677 (106)	F 27 245 (4) H 19 934 (15)		Total	3,32 (1,23-9,02)	0,95 (0,55- 1,64)	1,46 (0,91 - 2,34)		
				<i>Adénocarcinome pulmonaire</i>					
				Années depuis certificatio n	Femmes	Homme s	Total		
				≤ 5 ans	1,71 (0,52-5,60)	0,24 (0,09- 0,65)	0,36 (0,9- 0,70)		
				> 5 ans	5,08 (1,60-16,09)	1,27 (0,62- 2,63)	2,26 (1,24 - 4,10)		
				Total	3,56 (1,13-11,25)	0,81 (0,39- 1,66)	1,26 (0,69 - 2,29)		
Lin et al. (2021), Taïwan, 1984- 2011	Cuisiniers certifiés cuisine chinoise, identifiés sur	Cuisiniers certifiés cuisine non- chinoise, identifiés sur	Registr e national des cancers	<i>Cancer colorectal</i>				Catégorie d'âge (15–39, 40–59 et	Populations d'études importantes : 4218135 et 2873515
				Années depuis certificatio n	Femmes	Homme s	Total		

<p>registre professionnel et indemnes de cancer à la date de certification</p> <p>Cancer colorectal : 232 125 femmes (69,9% des cuisinières certifiées) et 99 849 hommes (30,1% des cuisiniers certifiés) ;</p> <p>Cancer du sein : 231 918 femmes (89,5% des cuisinières certifiées)</p>	<p>registre professionnel et indemnes de cancer à la date de certification</p> <p>Cancer colorectal : 27 277 femmes (57,8% des cuisinières non-certifiées) et 19 953 hommes (42,3% des cuisiniers non-certifiés)</p> <p>Cancer du sein : 27 272 (10,5% des cuisinières non-certifiées)</p>	<p>, Registre national des décès</p>	≤ 5 ans	1,34 (0,77–2,35)	0,61 (0,37–1,02)	ans 0.90 (0.63 – 1.30)	<p>≥ 60 ans) et sexe</p> <p>personnes/années incluses dans les analyses des cancers du colon et du sein.</p> <p>La population de référence (chefs de cuisine non chinoise) est probablement aussi exposée aux fumées de friture</p>
			> 5 ans	2,39 (1,38–4,12)	1,20 (0,76–1,90)	1,65 (1,17 – 2,33)	
			Total	1,92 (1,12–3,29)	0,94 (0,60–1,46)	1,31 (0,93 – 1,85)	
			<i>Cancer du sein</i>				
			≤ 5 ans	0,99 (0,77–1,27)			
			> 5 ans	1,74 (1,37–2,22)			
			Total	1,40 (1,10–1,78)			

### 3.3.2.2.3 Etudes de polymorphisme de gènes

Plusieurs publications ont étudié l'association entre certains polymorphismes génétiques et le risque de cancer du poumon, et analysé les interactions entre ces polymorphismes et l'exposition aux fumées d'huile de cuisine sur le risque de cancer du poumon. Certaines de ces publications rapportent une association entre l'exposition aux fumées d'huile de cuisine et le risque de cancer du poumon (OR 2,60 ; IC 95 % : 1,87-3,61 (M. Li et al. 2008) ; OR ajusté 1,58 ; IC 95 % : 1,11-2,25 (après un ajustement sur l'âge) (Z.-H. Yin et al. 2013) ; OR ajusté 1,59 ; IC 95 % : 1,13-2,23 (après un ajustement sur l'âge) (Yin et al. 2014) ; OR 1,44 ; IC 95 % : 1,07-2,93 (Saikia et al. 2014) ; OR 1,52 ; IC 95 % : 1,06-2,17 (Yin et al. 2015) ; OR 1,55 ; IC 95 % : 1,09-2,22 (Ren et al. 2015) ; OR 1,80 ; IC 95 % : 1,24-2,61 (Yin et al. 2016) ; OR 1,83 ; IC 95 % : 1,26-2,66 (X. Li et al. 2019) ; OR ajusté 2,01 ; IC 95 % : 1,09-3,71 (après un ajustement sur l'âge) (L. Zhang et al. 2019)), mais sans approfondir l'analyse de cette association. Toutefois, l'étude de Phukan et *al.* rapporte un risque significatif de cancer du poumon associé à l'exposition aux fumées de cuisine (OR ajusté 2,56 ; IC 95 % : 1,39-4,74, après un ajustement sur l'âge) et une augmentation du gradient dose réponse pour un index du nombre total de plats cuisinés fois le nombre total d'années (OR ajusté entre 1,26 ; IC 95 % : 0,47-3,33 et 4,56 ; IC 95 % : 1,51-13,78 après un ajustement sur l'âge, le niveau d'éducation et la situation professionnelle), mais sans ajuster sur le tabac. Aucune interaction entre les polymorphismes génétiques et l'exposition aux fumées d'huile de friture sur le risque de cancer du poumon n'a été mise en évidence (Phukan et al. 2014).

### 3.3.2.3 Synthèse des résultats

Le classement des travaux exposant aux émissions de friture à hautes températures par le CIRC dans le groupe 2A (probablement cancérogène pour l'Homme) établi en 2010 repose sur des preuves limitées de cancérogénicité chez l'Homme pour le cancer du poumon, essentiellement fondés sur les résultats de 4 études cas-témoins (dont une seulement a pris en compte la co-exposition aux fumées des sources d'énergie utilisées), ainsi que sur des preuves expérimentales et mécanistiques suffisantes (IARC 2010a). Les données expérimentales et mécanistiques ont indiqué un potentiel mutagène faible lorsque les huiles de cuisson sont chauffées à moins de 100°C et un potentiel mutagène élevé lorsque la température des huiles de cuisson excède 230°C.

Afin de tenir compte des éventuelles données publiées après les conclusions rendues par le CIRC dans son évaluation de 2010, une revue de la littérature des publications épidémiologiques évaluant le risque cancérogène des émissions de friture à hautes températures a été réalisée.

Depuis la monographie du CIRC de 2010, sont parues dans la littérature épidémiologique 12 nouvelles publications jugées d'intérêt : cinq études cas témoins, une étude de cohorte et deux méta-analyses en lien avec le cancer broncho-pulmonaire ; 3 études cas témoins en lien avec les lésions précancéreuses du col de l'utérus, le cancer nasopharyngé et le cancer de la cavité buccale, et une étude de cohorte en lien avec le cancer colorectal et le cancer du sein.

S'agissant du cancer broncho-pulmonaire, les résultats des cinq études cas témoins (Y. Lin et Cai 2012; Lo et al. 2013; Liang et al. 2019; Chen et al. 2020; Moayed-Nia et al. 2022), de l'étude de cohorte (P.-C. Lin et al. 2019) et des deux méta-analyses (Xue et al. 2016; Jia et al. 2018) parues après la monographie du CIRC de 2010 sont globalement cohérents avec ceux

des études analysées dans la monographie du CIRC de 2010 et confirment le caractère cancérigène (groupe 2A) sur le poumon des émissions de friture à hautes températures (IARC 2010a).

Les résultats rapportés dans la littérature après la monographie du CIRC de 2010 sur les cancers d'autres organes, à savoir, les lésions précancéreuses du col de l'utérus (C. Lee et al. 2010), le cancer nasopharyngé (Y.-Q. He et al. 2015), le cancer de la cavité buccale (B. He et al. 2016), le cancer colorectal et le cancer du sein (P.-C. Lin et al. 2021), n'ont pas permis de conclure quant à la cancérigénicité des émissions de friture à hautes températures sur ces organes.

Dans les publications évaluant la cancérigénicité des émissions de friture, l'exposition aux émissions de friture n'est pas mesurée mais évaluée à l'aide de questionnaires plus ou moins détaillés sur les pratiques culinaires (fréquence, type de friture ou de cuisson, combustible utilisé). Par ailleurs, comme indiqué dans la monographie du CIRC, il n'est pas possible d'attribuer les associations observées avec le risque de cancer du poumon aux seules huiles de cuisson, du fait d'un biais possible lié à l'effet des sources d'énergie utilisées pour les opérations de cuisson (notamment cuisson au charbon et au gaz).

Il est à noter que les études ayant permis de conclure à un effet cancérigène probable des émissions de friture concernent la préparation, généralement domestique de cuisine chinoise dans des conditions d'exécution spécifiques, en particulier les conditions de ventilation des locaux et de co-exposition aux fumées des combustibles utilisés (charbon ou gaz), qui peuvent être éloignées de celles rencontrées en milieu domestique et en milieu professionnel dans les pays occidentaux.

Tous ces résultats ont été synthétisés dans le tableau 20 ci-après :

Tableau 20 : Synthèse des résultats par type de cancer

Type de cancer	Conclusions de la monographie du CIRC de 2010 (IARC 2010a)	Conclusions des experts de l'Anses
<b>Cancer du poumon</b>	Preuves limitées chez l'Homme	Cinq études cas témoins (Y. Lin et Cai 2012; Lo et al. 2013; Liang et al. 2019; Chen et al. 2020; Moayedi-Nia et al. 2022), une étude de cohorte (P.-C. Lin et al. 2019) et deux méta-analyses (Xue et al. 2016; Jia et al. 2018) publiées après 2005 confortent les conclusions du CIRC, quant à la cancérigénicité des émissions de friture sur le poumon.  <b>Preuves limitées chez l'Homme</b>
<b>Cancer du col de l'utérus (lésions néoplasiques intraépithéliales)</b>	Non présent dans la monographie	Les données disponibles apportées par l'étude cas témoins ne permettent pas de conclure quant à la cancérigénicité des émissions de friture sur le col de l'utérus (C. Lee et al. 2010).
<b>Cancer nasopharyngé</b>		Les données disponibles apportées par l'étude cas témoins ne permettent pas de conclure quant à la cancérigénicité des émissions de friture sur le nasopharynx (Y.-Q. He et al. 2015).
<b>Cancer de la cavité buccale</b>		Les données disponibles apportées par l'étude cas témoins ne permettent pas de conclure quant à la cancérigénicité des émissions de friture sur la cavité buccale (B. He et al. 2016).
<b>Cancer colorectal</b>		Les données disponibles apportées par l'étude de cohorte ne permettent pas de conclure quant à la cancérigénicité des émissions de friture sur le côlon ou le sein (P.-C. Lin et al. 2021).
<b>Cancer du sein</b>		

## 4 Conclusions

### Périmètre de l'expertise

La demande émanant de la DGT portait sur la justification de l'inclusion des travaux exposant aux HAP dans l'arrêté français fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérigènes, arrêté qui permet notamment de transposer en droit français l'annexe I de la directive 2004/37/CE lorsque celle-ci est amenée à évoluer. Pour pouvoir être inclus dans l'arrêté, une substance, un mélange ou un procédé doit répondre aux critères de classification des agents cancérigènes dans les catégories 1A et 1B définis dans le règlement CLP ou à des critères pouvant être jugés équivalents à ces derniers. Il est à souligner que l'objectif de cette expertise n'était pas d'évaluer en détail les données de cancérigénicité au regard des critères de classification selon le règlement CLP de chaque HAP de façon individuelle, mais de s'appuyer sur des évaluations de la cancérigénicité pour des procédés ou travaux exposant à des mélanges de HAP.

### Identification des procédés ou travaux exposant aux HAP à considérer pour une éventuelle inclusion dans l'arrêté dans le cadre de cette expertise

En application du guide méthodologique de l'Anses permettant l'identification d'un procédé comme cancérigène, les procédés ou travaux exposant aux HAP considérés dans cette expertise sont ceux répondant aux critères de classification détaillés dans le guide méthodologique, à savoir les procédés ou travaux classés 1 ou 2A par le CIRC, 1A ou 1B par le DECOS et « cancérigènes connus pour l'Homme » par le NTP.

Les experts ont ensuite exclu de la liste des 19 procédés ou travaux ainsi identifiés, les 9 procédés ou travaux déjà visés par l'arrêté français fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérigènes ou exposant à des substances déjà classées cancérigènes par le règlement CLP.

L'examen des procédés et travaux exposant aux HAP classés restants a révélé que 6 d'entre eux exposent non seulement à des HAP mais également à plusieurs autres agents chimiques susceptibles d'être également à l'origine des effets cancérigènes. De ce fait, les experts ont considéré que leur cancérigénicité n'a pas à être évaluée dans le cadre spécifique de l'expertise relative aux travaux exposant aux HAP. Les travaux exposant dans l'industrie de la fabrication du caoutchouc, dans les métiers de peintre, de pompier, lors de la fabrication de verrerie d'art, de récipients en verre et d'articles en verre pressé, lors de la fonte de fer et d'acier et lors du raffinage du pétrole ont ainsi été considérés lors de l'établissement d'une liste hiérarchisée de procédés à expertiser pour une éventuelle inclusion dans l'arrêté français fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérigènes.

Au final, 4 procédés ont été retenus comme pertinents à expertiser, à savoir les travaux exposant aux huiles de schiste, les travaux exposant aux huiles minérales non traitées ou légèrement traitées, les expositions aux bitumes oxydés et à leurs émissions lors de travaux d'étanchéité de toitures et les travaux exposant aux émissions de friture à hautes températures.

Les experts ont décidé de classer par ordre de priorité ces 4 travaux ou procédés exposant aux HAP en appliquant la méthode SIRIS. Pour cette hiérarchisation, les experts ont utilisé les mêmes critères et scores que ceux utilisés pour l'établissement de la liste hiérarchisée de

procédés à expertiser en vue d'une inclusion à l'arrêté français fixant la liste des procédés cancérogènes.

Les experts ont donc retenu 2 critères pouvant influencer la hiérarchisation des procédés et dont les données pouvaient être disponibles ou accessibles : le nombre de travailleurs potentiellement exposés en France et la classification cancérogène du procédé par le CIRC considérée à la date de septembre 2023. Au regard de la difficulté à collecter des données estimant le nombre de travailleurs potentiellement exposés par la mise en œuvre des procédés ou travaux exposant aux HAP retenus, les experts ont décidé d'utiliser par défaut le nombre de travailleurs des secteurs d'activités susceptibles de mettre en œuvre le procédé. Le renseignement de ce critère s'est basé sur l'examen des données de la CNAM, de INSEE, ou d'informations disponibles sur les sites internet de fédérations professionnelles.

Les experts ont accordé plus d'importance au critère « nombre de travailleurs potentiellement exposés » qu'au critère « classification cancérogène ». Pour l'application de la méthode SIRIS, le critère « nombre de travailleurs potentiellement exposés » a été divisé en 5 niveaux et le critère « classification cancérogène » en 3 niveaux.

Dans la mesure où le calendrier de traitement de ces travaux permettait l'expertise de la cancérogénicité d'un seul procédé, les experts ont décidé d'examiner le procédé ayant obtenu le score le plus élevé lors de la hiérarchisation, à savoir les travaux exposant aux émissions de friture à hautes températures. Les trois autres procédés ou travaux exposant aux HAP ont été pris en compte dans le cadre des travaux relatifs à l'établissement d'une liste hiérarchisée de procédés à expertiser pour une éventuelle inclusion dans l'arrêté français fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes.

En ce qui concerne les travaux exposant aux huiles minérales non ou légèrement traitées, les experts soulignent que les huiles minérales destinées à la lubrification sont, depuis les années 60, des huiles désormais sévèrement raffinées et donc à teneur réduite en HAP lorsqu'elles sont neuves, réduisant ainsi leur cancérogénicité, comme cela a été souligné par le CIRC. Les experts tiennent, par ailleurs, à souligner que les huiles minérales usagées et/ou régénérées, peuvent contenir de fortes concentrations d'HAP. A l'exception des travaux entraînant une exposition cutanée à des huiles usagées utilisées dans des moteurs à combustion interne, les huiles usagées ne figurent pas dans l'arrêté fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes et leur cancérogénicité, ou celle des procédés les utilisant, n'ont été évaluées par aucun organisme de référence.

### **Expertise de la cancérogénicité des travaux exposant aux émissions de friture à hautes températures**

Dans la monographie 95 du CIRC, les émissions de friture à hautes températures concernent les émissions liées aux 3 modes de cuisson suivants : le sauté à la poêle (stir-frying), la friture à la poêle (pan frying) et la friture profonde (deep frying).

#### ▪ Description de la méthodologie mise en œuvre

Le classement des travaux exposant aux émissions de friture à hautes températures par le CIRC dans le groupe 2A, établi en 2010, repose sur :

- des preuves limitées de cancérogénicité chez l'Homme (pour le cancer du poumon), essentiellement fondées sur les résultats de 4 études cas-témoins dont une seule prenait en compte la co-exposition aux fumées des combustibles utilisés ;
- des preuves expérimentales et mécanistiques suffisantes :

- l'induction de tumeurs pulmonaires chez les animaux de deux espèces de rongeurs (rats et souris), exposés à des émissions de friture à hautes températures avec de l'huile de colza non raffinée ;
- un potentiel génotoxique faible des émissions de friture lorsque les huiles de cuisson étaient chauffées à une température inférieure à 100°C et un potentiel génotoxique élevé lorsque les huiles de cuisson étaient chauffées à plus de 230°C.

Afin de tenir compte des éventuelles données publiées après les conclusions rendues par le CIRC dans son évaluation de 2010, une revue de la littérature des publications épidémiologiques évaluant le risque cancérigène des émissions de friture à hautes températures a été réalisée.

Depuis la monographie du CIRC de 2010, sont parues dans la littérature épidémiologique 12 nouvelles publications jugées d'intérêt :

- cinq études cas témoins, une étude de cohorte et deux méta-analyses en lien avec le risque de cancer broncho-pulmonaire ;
- trois études cas témoins en lien avec les risques de lésions précancéreuses du col de l'utérus, de cancer nasopharyngé et de cancer de la cavité buccale ;
- une étude de cohorte en lien avec les risques de cancer colorectal et de cancer du sein.

#### ▪ Analyse et résultats

S'agissant du cancer broncho-pulmonaire, les résultats des cinq études cas témoins (Y. Lin et Cai 2012; Lo et al. 2013; Liang et al. 2019; Chen et al. 2020; Moayedi-Nia et al. 2022), de l'étude de cohorte (P.-C. Lin et al. 2019) et des deux méta-analyses (Xue et al. 2016; Jia et al. 2018) parues après les conclusions du CIRC sont globalement cohérentes avec ceux des études analysées dans la monographie du CIRC de 2010 et confirment le caractère cancérigène sur le poumon des émissions de friture à hautes températures.

Les résultats rapportés, après la monographie du CIRC de 2010, dans la littérature pour les cancers sur d'autres organes, à savoir, les lésions précancéreuses du col de l'utérus (C. Lee et al. 2010), le cancer nasopharyngé (Y.-Q. He et al. 2015), le cancer de la cavité buccale (B. He et al. 2016), le cancer colorectal et le cancer du sein (P.-C. Lin et al. 2021), ne permettent pas de conclure quant à la cancérigénicité des émissions de friture à hautes températures sur ces organes.

Les experts tiennent à souligner que les publications ayant permis de conclure à la cancérigénicité sur le poumon des émissions de friture, rapportées par le CIRC ou parues après la monographie du CIRC, concernent majoritairement des études menées en Asie, dans le cadre d'activités domestiques, pour lesquelles les émissions d'huiles de friture peuvent différer de celles engendrées lors des pratiques culinaires occidentales, voire françaises (différences dans les types de friture mises en œuvre, les huiles ou matières grasses utilisées, les types de cuisine, équipements de ventilation mis en œuvre, dans les combustibles utilisés pour réaliser les opérations de friture, etc.) .

Néanmoins, l'analyse des études publiées après la monographie du CIRC de 2010 (à la date de septembre 2023) conforte la classification du CIRC dans le groupe 2A des travaux exposant aux émissions de friture à hautes températures pour le cancer du poumon et ne permet pas de conclure à la cancérigénicité sur d'autres organes cibles.



En conclusion, les preuves épidémiologiques limitées chez l'Homme et les preuves animales et mécanistiques déjà jugées suffisantes dans la monographie du CIRC, permettent de conclure à la probable cancérigénicité (groupe 2A du CIRC) des travaux exposant aux émissions de friture avec des graisses animales ou végétales.

#### ▪ Expositions aux émissions de friture à hautes températures

Lors de la friture, l'augmentation de la température favorise les transformations physiques et biochimiques de la matière grasse et des aliments, notamment la décomposition des esters d'acides gras des huiles ou des graisses en COV ou en COSV pouvant se condenser pour former des particules fines (PM<sub>2,5</sub>) et ultrafines (PM<sub>0,1</sub>) (IARC 2010a). En plus des particules fines et ultrafines (Wallace, Emmerich, et Howard-Reed 2004; Brauer et al. 2000; Schauer et al. 1998), une grande variété de composés organiques a été identifiée dans les émissions de friture notamment des HAP (Chiang, Wu, et Ko 1999), des aldéhydes (Schauer et al. 1998), des amines aromatiques (Chiang et al. 1999), de l'acrylamide (Hsu, Inbaraj, et Chen 2006).

La composition des émissions de friture varie selon :

- **le type de friture** (sauté à la poêle, friture à la poêle et friture profonde) : du fait de la quantité importante d'huile utilisée, la friture profonde émet plus de particules fines et ultrafines et d'HAP que le sauté à la poêle ou la friture à la poêle ;
- **la matière grasse utilisée** : le type de matière grasse utilisée influence plus fortement la composition chimique des émissions de friture que le type de friture. La qualité de la matière grasse influence aussi la composition en HAP des émissions ;
- **la température de friture** : l'augmentation de la température de la friture favorise les émissions de composés organiques volatils (Lin et al. 2007) ;
- **le temps de cuisson** : la friture longue favorise les émissions d'HAP ;
- **le type d'aliments frits** : la friture d'aliments riches en matière grasse favorise les émissions d'HAP ;
- **la source d'énergie utilisée pour la cuisson** : la cuisson au gaz est plus émettrice en particules ultrafines et en HAP que la cuisson électrique.

L'exposition des travailleurs aux HAP et aux particules des émissions de friture peut être réduite par l'installation d'un système d'extraction de fumées.

L'interrogation de la base de données COLCHIC pour accéder aux mesures d'exposition des travailleurs exposés aux HAP lors de la décomposition thermique d'huiles et de graisses alimentaires n'a donné aucun résultat statistiquement exploitable, reflétant ainsi un manque de préoccupation en France pour les émissions de friture.

Les experts soulignent que les publications évaluant l'exposition des travailleurs aux HAP lors d'opérations de friture sont principalement menées en Asie, reflétant également plus globalement le peu de préoccupation pour les expositions professionnelles aux émissions de friture en Occident.

#### ▪ Conclusion

**Au regard de ces éléments, les experts proposent d'ajouter à l'arrêté français fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérigènes l'intitulé suivant « travaux exposant aux émissions de friture avec des graisses animales ou végétales ». Cet intitulé permet de prendre en compte l'ensemble des types de friture et ce indépendamment de la température de cuisson variable selon la matière grasse utilisée.**

Les experts relèvent que le manque de publications en dehors de l'Asie du Sud-Est, que ce soit pour l'évaluation de la cancérigénicité des émissions ou l'évaluation de l'exposition des travailleurs aux émissions de friture en Occident, souligne le peu d'attention que suscitent les expositions professionnelles aux émissions de friture. Pourtant, il existe un nombre important de travailleurs potentiellement exposés aux émissions de friture, évalué à environ 1 400 000 personnes salariées fin 2021 d'après l'INSEE.

## 5 Recommandations

Au regard des éléments présentés dans le rapport, les experts émettent des recommandations relatives à :

- la mise à jour de l'arrêté fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes ;
- la protection et la sensibilisation des professionnels potentiellement exposés aux émissions de friture ;
- la gestion des huiles de friture usagées ;
- l'amélioration des connaissances sur le risque cancérogène lié aux émissions de friture ainsi que celui lié aux procédés exposant aux HAP.

**Afin de mettre à jour l'arrêté fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes**, les experts recommandent d'ajouter à l'arrêté « les travaux exposant aux émissions de friture avec des graisses animales ou végétales ».

**Afin de protéger et de sensibiliser les professionnels potentiellement exposés aux émissions de friture, les experts recommandent :**

- d'informer le personnel exposé aux émissions de friture sur le risque cancérogène ;
- de mettre en place et d'entretenir un système de captage des émissions de friture adapté et efficace ;
- de vérifier régulièrement la qualité des huiles afin de les renouveler lorsque nécessaire et d'appliquer les bonnes pratiques visant à limiter l'enrichissement des huiles en HAP par dégradation (limitation de la température de chauffe, filtration après utilisation, etc.) pour minimiser les émissions de HAP lors de leur utilisation ;
- d'informer et de former les employeurs au risque cancérogène et à la prévention des risques liés aux émissions de friture avec des graisses animales ou végétales.

**Afin d'éviter la contamination de l'environnement ou des systèmes de traitement des eaux usées**, les experts recommandent aux pouvoirs publics de mettre en place un système de collecte systématique des huiles de friture usagées quelles que soient les quantités produites.

**Afin d'améliorer les connaissances sur le risque cancérogène lié à l'exposition aux émissions de friture, les experts recommandent :**

- de mener des campagnes de mesures d'exposition aux composés émis lors de fritures représentatives des pratiques culinaires occidentales, et notamment aux HAP ;
- de prendre en compte les expositions aux émissions de friture dans la prochaine enquête SUMER ;
- de mener des études épidémiologiques afin de pouvoir mieux évaluer la cancérogénicité des émissions de friture représentatives des pratiques culinaires occidentales.

**Afin d'améliorer les connaissances sur le risque cancérogène lié aux procédés ou travaux exposant aux HAP, les experts recommandent :**

- de mettre en place des dispositions réglementaires pour une caractérisation adaptée de la teneur en HAP des huiles usagées et régénérées (recyclées) et d'élaborer les règles de classification et d'étiquetage correspondantes ;
- d'évaluer la cancérogénicité des huiles minérales usagées (autres que celles « qui ont été auparavant utilisées dans des moteurs à combustion interne pour lubrifier et refroidir les pièces mobiles du moteur ») et des huiles minérales régénérées (recyclées).

**Date de validation du rapport d'expertise collective par le groupe de travail : 23 février 2024**

## 6 Bibliographie

Abdel-Shafy, et Mona S.M. Mansour. 2016. « A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation ». *Egyptian Journal of Petroleum* 25 (1) : 107-23. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.03.011>.

ACGIH®. 2018. *2018 TLVs® and BEIs®: based on the documentation of the threshold limit values for chemical substances and physical agents & biological exposure indices*. Cincinnati, OH : ACGIH®.

Adrian, Potus, et Frangne. 1995. *La Science Alimentaire de A à Z*. Lavoisier Technique et Documentation. Paris.

An, Liu, et Liu. 2017. « Relationship between total polar components and polycyclic aromatic hydrocarbons in fried edible oil ». *Food Additives & Contaminants: Part A* 34 (9) : 1596-1605. <https://doi.org/10.1080/19440049.2017.1338835>.

Anses. 2013a. « Evaluation des risques sanitaires liés à l'utilisation professionnelle des produits bitumeux et de leurs additifs ». Saisine n°2008-SA-0410. Maisons-Alfort : Anses.

———. 2013b. « Hiérarchisation des insecticides potentiellement utilisables en lutte anti-vectorielle (LAV) ». Saisine n°2012-SA-0028. Maisons-Alfort : Anses.

———. 2018. « Note d'appui scientifique et technique de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, relative à l'identification de nouveaux procédés à inscrire à l'arrêté du 5 janvier 1993 fixant la liste des substances, préparations et procédés cancérigènes: Analyse du caractère cancérigène de quatre procédés identifiés par la Direction générale du travail en vue d'une inclusion dans l'arrêté de 1993 fixant la liste des substances, préparations et procédés cancérigènes. » Saisine n° 2017-SA-0237. Maisons-Alfort : Anses.

———. 2021. « Identification de travaux ou de procédés à inscrire à l'arrêté fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérigènes - Expertise relative aux travaux exposant aux cytostatiques ». Saisine n° 2017-SA-0237. Maisons-Alfort : Anses.

———. 2022. « Identification de travaux ou de procédés à inscrire à l'arrêté fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérigènes - Expertise relative aux travaux exposant aux fumées de soudage ». Saisine n° 2017-SA-0237. Maisons-Alfort : Anses.

———. 2023. « Identification de travaux ou de procédés à inscrire à l'arrêté fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérigènes - Guide méthodologique permettant d'identifier un procédé cancérigène ». Saisine n° 2017-SA-0237. Maisons-Alfort : Anses.

———. 2024. « Identification de travaux ou de procédés à inscrire à l'arrêté fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérigènes - Etablissement d'une liste hiérarchisée de procédés à expertiser pour une éventuelle inclusion dans l'arrêté français fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérigènes. » Saisine n°2017-SA-0237. Maisons-Alfort : Anses.

ATSDR. 2022. « Guidance for Calculating Benzo(a)pyrene Equivalents for Cancer Evaluations of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons ». Atlanta : Department of health and human services, Public health service.

Barbeau, Lutier, Marques, Persoons, Maitre. 2017. « Comparison of gaseous polycyclic aromatic hydrocarbon metabolites according to their specificity as biomarkers of occupational

- exposure: Selection of 2-hydroxyfluorene and 2-hydroxyphenanthrene ». *Journal of hazardous materials* 332 : 185–194. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.03.011>.
- Bogey. 2018. « Surveillance biologique des expositions aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans la production d'aluminium et d'électrodes ». Médecine humaine et pathologie, Université Grenoble Alpes.
- Bojes, et Pope. 2007. « Characterization of EPA's 16 priority pollutant polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in tank bottom solids and associated contaminated soils at oil exploration and production sites in Texas ». *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 47 (3) : 288-95. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2006.11.007>.
- Boström, Carl-Elis, Per Gerde, Annika Hanberg, Bengt Jernström, Christer Johansson, Titus Kyrklund, Agneta Rannug, Margareta Törnqvist, Katarina Victorin, et Roger Westerholm. 2002. « Cancer risk assessment, indicators, and guidelines for polycyclic aromatic hydrocarbons in the ambient air ». *Environmental Health Perspectives* 110 Suppl 3 (Suppl 3) : 451-88. <https://doi.org/10.1289/ehp.110-1241197>.
- Brauer, Hirtle, Lang, et Ott. 2000. « Assessment of indoor fine aerosol contributions from environmental tobacco smoke and cooking with a portable nephelometer ». *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology* 10 (2) : 136-44. <https://doi.org/10.1038/sj.jea.7500076>.
- Champmartin. 2012. « Estimation du potentiel cancérogène des huiles minérales régénérées ». *Hygiène et sécurité du travail*, n° ND 2356-227-12.
- Chen, Tzu-Yu, Yao-Hwei Fang, Hui-Ling Chen, Chin-Hao Chang, Hsin Huang, Yi-Song Chen, Kuo-Meng Liao, et al. 2020. « Impact of cooking oil fume exposure and fume extractor use on lung cancer risk in non-smoking Han Chinese women ». *Scientific Reports* 10 (1) : 6774. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63656-7>.
- Chiang, Tai-An, Wu Pei-Fen, Liao Su Ying, Li-Fang Wang, et Ying-Chin Ko. 1999. « Mutagenicity and aromatic amine content of fumes from heated cooking oils produced in Taiwan ». *Food and Chemical Toxicology* 37 (2-3) : 125-34. [https://doi.org/10.1016/S0278-6915\(98\)00081-7](https://doi.org/10.1016/S0278-6915(98)00081-7).
- Chiang, Wu, et Ko. 1999. « Identification of Carcinogens in Cooking Oil Fumes ». *Environmental Research* 81 (1) : 18-22. <https://doi.org/10.1006/enrs.1998.3876>.
- Chiang, Wu, Wang, Lee, Lee, et Ko. 1997. « Mutagenicity and polycyclic aromatic hydrocarbon content of fumes from heated cooking oils produced in Taiwan ». *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis* 381 (2) : 157-61. [https://doi.org/10.1016/S0027-5107\(97\)00163-2](https://doi.org/10.1016/S0027-5107(97)00163-2).
- Citepa. 2023. « Gaz à effet de serre et polluants atmosphériques, bilan des émissions en France de 1990 à 2022 ». Rapport d'inventaire Secten.
- Congress of the United States. 1980. « An Assessment of Oil Shale Technologies ». Office of technology assessment.
- Courtois, Francis, Aman Mohammad Ziaifar, Isabelle Trezzani, et Gilles Trystram. 2012. « Friture profonde : les interactions huile-produit ». *Oléagineux, Corps gras, Lipides* 19 (2) : 89-95. <https://doi.org/10.1051/ocl.2012.0444>.
- Deutsche Forschungsgemeinschaft. 2021. « MAK- und BAT-Werte-Liste 2021 ». [https://doi.org/10.34865/MBWL\\_2021\\_DEU](https://doi.org/10.34865/MBWL_2021_DEU).
- Directive 86/188/CEE du Conseil du 12 mai 1986 concernant la protection des travailleurs contre les risques dus à l'exposition au bruit pendant le travail.* .

- Doornaert, Blandine, et Annick Pichard. 2005. « Analyse et proposition de méthodes d'évaluation de la relation dose-réponse des effets cancérigènes induits par un mélange d'hydrocarbures aromatiques polycycliques ». *Environnement, Risques et Santé* 4 (3) : pp.205-220.
- ECHA. 2022. « ECHA scientific report for evaluation of limit values for polycyclic aromatic hydrocarbons at the workplace ». ECHA.
- Energy information administration. 2015. « Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources : Other Western Europe ». US. Energy Information Administration.
- Erbach. 2014. « Shale gas and EU energy security ». European Parliamentary Research Service.
- Ewa, Błaszczuk, et Mielżyńska-Švach Danuta. 2017. « Polycyclic aromatic hydrocarbons and PAH-related DNA adducts ». *Journal of Applied Genetics* 58 (3) : 321-30. <https://doi.org/10.1007/s13353-016-0380-3>.
- FranceAgriMer, et ADEME. 2015. « Etude des filières des sous-produits des IAA pouvant être utilisés pour la production de biocarburants (graisses animales, huiles alimentaires usagées et sous-produits de vinification) ».
- Fullana, Andres, Ángel A Carbonell-Barrachina, et Sukh Sidhu. 2004. « Volatile aldehyde emissions from heated cooking oils ». *Journal of the Science of Food and Agriculture* 84 (15) : 2015-21. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1904>.
- Gao, Blot, Zheng, Ersnow, Hsu, Levin, Zhang, et Fraumeni. 1987. « Lung cancer among Chinese women ». *International Journal of Cancer* 40 (5) : 604-9. <https://doi.org/10.1002/ijc.2910400505>.
- Gisslen. 2010. *Professional cooking*. Seventh edition. John Wiley and Sons.
- Goel, Ola, et Veetil. 2019. « Burden of disease for workers attributable to exposure through inhalation of PPAHs in RSPM from cooking fumes ». *Environmental Science and Pollution Research* 26 (9) : 8885-94. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04242-x>.
- He, Baochang, Fa Chen, Lingjun Yan, Jiangfeng Huang, Fangping Liu, Yu Qiu, Lisong Lin, Zuofeng Zhang, et Lin Cai. 2016. « Independent and joint exposure to passive smoking and cooking oil fumes on oral cancer in Chinese women: a hospital-based case-control study ». *Acta Oto-Laryngologica* 136 (10) : 1074-78. <https://doi.org/10.1080/00016489.2016.1185539>.
- He, Hu, Huang, Yu, Zhang, et Liu. 2004a. « Measurement of emissions of fine particulate organic matter from Chinese cooking ». *Atmospheric Environment* 38 (38) : 6557-64. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.08.034>.
- He, Hu, Wang, Huang, et Zhang. 2004b. « Characterization of fine organic particulate matter from Chinese cooking ». *Journal of Environmental Sciences (China)* 16 (4) : 570-75.
- He, Yong-Qiao, Wen-Qiong Xue, Guo-Ping Shen, Ling-Ling Tang, Yi-Xin Zeng, et Wei-Hua Jia. 2015. « Household inhalants exposure and nasopharyngeal carcinoma risk: a large-scale case-control study in Guangdong, China ». *BMC Cancer* 15 (1) : 1022. <https://doi.org/10.1186/s12885-015-2035-x>.
- Health Council of the Netherlands. 2019. *Emission during coal gasification*. Evaluation of the carcinogenicity and genotoxicity. The Hague : Health Council of the Netherlands.
- . 2020. *Iron and steel founding emissions*. Evaluation of the carcinogenicity and genotoxicity. The Hague : Health Council of the Netherlands.

Hsu, Inbaraj, et Chen. 2006. « Lack of Formation of Heterocyclic Amines in Fumes from Frying French Fries ». *Journal of Food Protection* 69 (9) : 2230-36. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-69.9.2230>.

IARC. 1984. *Polynuclear aromatic compounds, part 2, carbon blacks, mineral oils and some nitroarenes*. Vol. 33. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Lyon : IARC.

———. 1985. *Polynuclear aromatic compounds, part 4, bitumens, coal-tars and derived products, shale-oils and soots*. Vol. 35. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Lyon : IARC.

———. 1989a. *Occupational exposures in petroleum refining ; crude oil and major petroleum fuels*. Vol. 45. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Lyon : IARC.

———. 1989b. *Some organic solvents, resin monomers and related compounds, pigments and occupational exposures in paint manufacture and painting*. Vol. 47. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Lyon : IARC.

———. 1993. *Beryllium, cadmium, mercury and exposures in the glass manufacturing industry*. Vol. 58. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Lyon : IARC.

———. 1996. *Printing processes and printing inks, carbon black and some nitro compounds*. Vol. 65. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Lyon : IARC.

———. 1997. *Silica, some silicates, coal dust and para-aramid fibrils*. Vol. 68. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Lyon : IARC.

———. 2002. *Some traditional herbal medicines, some mycotoxins, naphthalene and styrene*. Vol. 82. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Lyon : IARC.

———. 2010a. *Household use of solid fuels and high-temperature frying*. Vol. 95. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Lyon : IARC.

———. 2010b. *Some Non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons and some related exposures*. Vol. 92. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Lyon : IARC.

———. 2012. *A review of human carcinogens : Chemical agents and related occupations*. Vol. 100F. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Lyon : IARC.

———. 2013. *Bitumens and bitumen emissions, and some N- and S-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons*. Vol. 103. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Lyon : IARC.

———. 2014. *Diesel and gasoline engine exhausts and some nitroarenes*. Vol. 105. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Lyon : IARC.

———. 2018. *Welding molybdenum trioxide, and indium tin oxide*. Vol. 118. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Lyon : IARC.

———. 2023. *Occupational exposure as a firefighter*. Vol. 132. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Lyon : IARC.

INRS. 2012. « Estimation du potentiel cancérogène des huiles minérales régénérées ». *Hygiène et sécurité du travail*, n° 227.

———. 2022. « Les valeurs limites d'exposition professionnelle - ED 6443 ».



- Jia, Peng-Li, Chao Zhang, Jia-Jie Yu, Chang Xu, Li Tang, et Xin Sun. 2018. « The risk of lung cancer among cooking adults: a meta-analysis of 23 observational studies ». *Journal of Cancer Research and Clinical Oncology* 144 (2) : 229-40. <https://doi.org/10.1007/s00432-017-2547-7>.
- Jørgensen, Strandberg, Sjaastad, Johansen, et Svendsen. 2013. « Simulated Restaurant Cook Exposure to Emissions of PAHs, Mutagenic Aldehydes, and Particles from Frying Bacon ». *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 10 (3) : 122-31. <https://doi.org/10.1080/15459624.2012.755864>.
- Jouany, Vaillant, Blarez, Cabridenc, Ducloux, et Schmitt. 1983. « Une méthode qualitative d'appréciation des dossiers en écotoxicologie cas des substances chimiques. » *Chimie et écologie*, 23.
- Kamal, Malik, Martellini, et Cincinelli. 2015. « Exposure to dust-bound PAHs and associated carcinogenic risk in primitive and traditional cooking practices in Pakistan ». *Environmental Science and Pollution Research* 22 (16) : 12644-54. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4444-4>.
- Ke, Cheng, Zhang, Zhang, Shuai, et Wu. 2009. « Increased levels of oxidative DNA damage attributable to cooking-oil fumes exposure among cooks ». *Inhalation Toxicology* 21 (8) : 682-87. <https://doi.org/10.1080/08958370802474728>.
- Kim, Jahan, Kabir, et Brown. 2013. « A review of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and their human health effects ». *Environment International* 60 (octobre) : 71-80. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.07.019>.
- Lai, Jaakkola, Chuang, Liou, Lung, Ching-Hui Loh, Dah-Shyong Yu, et Paul T. Strickland. 2013. « Exposure to Cooking Oil Fumes and Oxidative Damages: A Longitudinal Study in Chinese Military Cooks ». *Journal of exposure science & environmental epidemiology* 23 (1) : 94-100. <https://doi.org/10.1038/jes.2012.87>.
- Laroche. 2007. « L'exploration statistique du biais de publication ». *Journal de la société française de statistique* Tome 148 (4).
- Lee, Byeong-Kyu. 2010. « Sources, Distribution and Toxicity of Polyaromatic Hydrocarbons (PAHs) in Particulate Matter ». Dans *Air Pollution*. Sous la direction de Vanda Villanyi. Sciyo. <https://doi.org/10.5772/10045>.
- Lee, Chien-Hung, Sheau-Fang Yang, Chiung-Yu Peng, Ruei-Nian Li, Yu-Chieh Chen, Te-Fu Chan, Eing-Mei Tsai, et al. 2010. « The precancerous effect of emitted cooking oil fumes on precursor lesions of cervical cancer ». *International Journal of Cancer* 127 (4) : 932-41. <https://doi.org/10.1002/ijc.25108>.
- Lee, Lee, Choi, Seo, et Choi. 2022. « Hazard Levels of Cooking Fumes in Republic of Korea Schools ». *Safety and Health at Work* 13 (2) : 227-34. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2021.12.702>.
- Lewné, Johannesson, Strandberg, et Bigert. 2017. « Exposure to Particles, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, and Nitrogen Dioxide in Swedish Restaurant Kitchen Workers ». *Annals of Work Exposures and Health* 61 (2) : 152-63. <https://doi.org/10.1093/annweh/wxw027>.
- Li, Li, Yin, Jiang, Tian, Tang, et Zhou. 2019. « Polymorphisms of rs4787050 and rs8045980 are associated with lung cancer risk in northeast Chinese female nonsmokers ». *Biomarkers in Medicine* 13 (13) : 1119-28. <https://doi.org/10.2217/bmm-2018-0482>.
- Li, Qiu, Shu, Ho, Jun-Ji Cao, Wang, Wang, et Zhao. 2018. « Characteristics of polycyclic aromatic hydrocarbons in PM2.5 emitted from different cooking activities in China ».

*Environmental Science and Pollution Research* 25 (5) : 4750-60.  
<https://doi.org/10.1007/s11356-017-0603-0>.

Li, Yin, Guan, Li, Cui, Zhang, Bai, He, et Zhou. 2008. « XRCC1 polymorphisms, cooking oil fume and lung cancer in Chinese women nonsmokers ». *Lung Cancer* 62 (2) : 145-51.  
<https://doi.org/10.1016/j.lungcan.2008.03.002>.

Liang, Di, Jingxi Wang, Daojuan Li, Jin Shi, Jin Jing, Baoen Shan, et Yutong He. 2019. « Lung Cancer in Never-Smokers: A Multicenter Case-Control Study in North China ». *Frontiers in Oncology* 9 (décembre) : 1354. <https://doi.org/10.3389/fonc.2019.01354>.

Lin, Chuang, Huang, et Wei. 2007. « Emission of ethylene oxide during frying of foods in soybean oil ». *Food and Chemical Toxicology* 45 (4) : 568-74.  
<https://doi.org/10.1016/j.fct.2006.10.002>.

Li S, Pan D, Wang G. 1994. «Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in cooking oil fumes». *Arch Environ Health*, 49:119–122. PMID: 8161241.

Lin, Pei-Chen, Chiung-Yu Peng, Chih-Hong Pan, Jui-Ying Lee, Tusty-Juan Hsieh, Yun-Shiuan Chuang, Robert J. Turesky, Chia-Fang Wu, et Ming-Tsang Wu. 2021. « Risk of two common glandular cell-type cancers (breast and colorectal cancers) in Chinese occupational chefs: a nationwide ecological study in Taiwan ». *International Archives of Occupational and Environmental Health* 94 (6) : 1363-73. <https://doi.org/10.1007/s00420-021-01673-3>.

Lin, Pei-Chen, Chiung-Yu Peng, Chih-Hong Pan, Pi-I Debby Lin, et Ming-Tsang Wu. 2019. « Gender differences and lung cancer risk in occupational chefs: analyzing more than 350,000 chefs in Taiwan, 1984–2011 ». *International Archives of Occupational and Environmental Health* 92 (1) : 101-9. <https://doi.org/10.1007/s00420-018-1358-8>.

Lin, Yong, et Lin Cai. 2012. « Environmental and Dietary Factors and Lung Cancer Risk Among Chinese Women: A Case-Control Study in Southeast China ». *Nutrition and Cancer* 64 (4) : 508-14. <https://doi.org/10.1080/01635581.2012.668743>.

Lo, Yen-Li, Chin-Fu Hsiao, Gee-Chen Chang, Ying-Huang Tsai, Ming-Shyan Huang, Wu-Chou Su, Yuh-Min Chen, et al. 2013. « Risk factors for primary lung cancer among never smokers by gender in a matched case–control study ». *Cancer Causes & Control* 24 (3) : 567-76.  
<https://doi.org/10.1007/s10552-012-9994-x>.

Long, Chen, He, et Li. 2005. « Experimental Study on Lung Cancer Induced by Cooking Oil Fumes in SD Rats ». *Journal of Environmental Health*.

Louro, Gomes, Saber, Iamiceli, Thomas Göen, Jones, Katsonouri, et al. 2022. « The Use of Human Biomonitoring to Assess Occupational Exposure to PAHs in Europe: A Comprehensive Review ». *Toxics* 10 (8) : 480. <https://doi.org/10.3390/toxics10080480>.

Mallah, Changxing, Mallah, Noreen, Liu, Saeed, Xi, et al. 2022. « Polycyclic aromatic hydrocarbon and its effects on human health: An overview ». *Chemosphere* 296 (juin) : 133948. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133948>.

Metayer, Wang, Kleinerman, Wang, Alina V. Brenner, Cui, Cao, et Lubin. 2002. « Cooking oil fumes and risk of lung cancer in women in rural Gansu, China ». *Lung Cancer* 35 (2) : 111-17.  
[https://doi.org/10.1016/S0169-5002\(01\)00412-3](https://doi.org/10.1016/S0169-5002(01)00412-3).

Moayedi-Nia, Saeedeh, Romain Pasquet, Jack Siemiatycki, Anita Koushik, et Vikki Ho. 2022. « Occupational Exposures and Lung Cancer Risk—An Analysis of the CARTaGENE Study ». *Journal of Occupational & Environmental Medicine* 64 (4) : 295-304.  
<https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000002481>.

Mossman, et Koch-Mathian. 2001. « Gestion des sites (potentiellement) pollués et évaluation simplifiée des risques. Suivi de la mise en oeuvre de la version 2. » Bureau des recherches géologiques et minières.

Navruz-Varli, Bilici, Ari, Ertürk-Ari, Ilhan, et O. Gaga. 2022. « Organic pollutant exposure and health effects of cooking emissions on kitchen staff in food services ». *Indoor Air* 32 (8). <https://doi.org/10.1111/ina.13093>.

Nikolova-Pavageau, et F Pillière. 2018. « Cartographie des expositions aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) par secteur d'activité : focus sur la surveillance biologique des expositions professionnelles ». *INRS - Références en santé au travail*, n° 154 (juin).

Nisbet, Ian C.T., et Peter K. LaGoy. 1992. « Toxic equivalency factors (TEFs) for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) ». *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 16 (3) : 290-300. [https://doi.org/10.1016/0273-2300\(92\)90009-X](https://doi.org/10.1016/0273-2300(92)90009-X).

NTP. 1980. *First annual report on carcinogens*. Vol. 1. Department of health and human services : National toxicology program and US public health service.

———. 1981. *Second annual report on carcinogens*. Vol. 2. Department of health and human services : National toxicology program and US public health service.

———. 1989. *Fifth annual report on carcinogens*. Vol. 5. Department of health and human services : National toxicology program and US public health service.

———. 2000. *Ninth annual report on carcinogens*. Vol. 9. Department of health and human services : National toxicology program and US public health service.

Pan, Chan, Huang, et Wu. 2008. « Urinary 1-hydroxypyrene and malondialdehyde in male workers in Chinese restaurants ». *Occupational and Environmental Medicine* 65 (11) : 732-35. <https://doi.org/10.1136/oem.2007.036970>.

Pan, Chih-Hong, Chang-Chuan Chan, et Kuen-Yuh Wu. 2008. « Effects on Chinese Restaurant Workers of Exposure to Cooking Oil Fumes: A Cautionary Note on Urinary 8-Hydroxy-2'-Deoxyguanosine ». *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention* 17 (12) : 3351-57. <https://doi.org/10.1158/1055-9965.EPI-08-0075>.

Patel, Avani Bharatkumar, Shabnam Shaikh, Kunal R. Jain, Chirayu Desai, et Datta Madamwar. 2020. « Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Sources, Toxicity, and Remediation Approaches ». *Frontiers in Microbiology* 11 : 562813. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.562813>.

Perera, Tang, Whyatt, Lederman, et Jedrychowski. 2005. « DNA damage from polycyclic aromatic hydrocarbons measured by benzo[a]pyrene-DNA adducts in mothers and newborns from Northern Manhattan, the World Trade Center Area, Poland, and China ». *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention: A Publication of the American Association for Cancer Research, Cosponsored by the American Society of Preventive Oncology* 14 (3) : 709-14. <https://doi.org/10.1158/1055-9965.EPI-04-0457>.

Persoons, Roseau, Petit, Hograindleur, Montlevier, Marques, Ottoni, Maitre. 2020. « Towards a recommended biomonitoring strategy for assessing the occupational exposure of roofers to PAHs ». *Toxicology letters* 324 : 54–64. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2020.01.025>.

Petit. 2016. « De l'exposition professionnelle aux hydrocarbures aromatiques polycycliques à l'estimation du risque de cancers professionnels ». Médecine humaine et pathologie, Université Grenoble Alpes.

Petry, Schmid, et Schlatter. 1996. « The use of toxic equivalency factors in assessing occupational and environmental health risk associated with exposure to airborne mixtures of

polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) ». *Chemosphere* 32 (4) : 639-48. [https://doi.org/10.1016/0045-6535\(95\)00348-7](https://doi.org/10.1016/0045-6535(95)00348-7).

Phukan, Rup Kumar, Bhaskar Jyoti Saikia, Prasanta Kumar Borah, Eric Zomawia, Gaganpreet Singh Sekhon, et Jagadish Mahanta. 2014. « Role of Household Exposure, Dietary Habits and Glutathione S-Transferases M1, T1 Polymorphisms in Susceptibility to Lung Cancer among Women in Mizoram India ». *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention* 15 (7) : 3253-60. <https://doi.org/10.7314/APJCP.2014.15.7.3253>.

Pierre, et Colmar. 2009. « Réalisation d'une cartographie de l'impact potentiel des produits phytosanitaires sur les eaux superficielles de la région Pays de la Loire ». Société Géo-Hyd.

Reizer, Edina, Béla Viskolcz, et Béla Fiser. 2022. « Formation and growth mechanisms of polycyclic aromatic hydrocarbons: A mini-review ». *Chemosphere* 291 (Pt 1) : 132793. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132793>.

Ren, Yin, Li, Wan, Li, Wu, Guan, et Zhou. 2015. « TGFβ-1 and TGFBR2 polymorphisms, cooking oil fume exposure and risk of lung adenocarcinoma in Chinese nonsmoking females: a case control study ». *BMC Medical Genetics* 16 (1) : 22. <https://doi.org/10.1186/s12881-015-0170-5>.

Sahoo, Biswa Mohan, Bera Venkata Varaha Ravi Kumar, Bimal Krishna Banik, et Preetismita Borah. 2020. « Polyaromatic Hydrocarbons (PAHs): Structures, Synthesis and their Biological Profile ». *Current Organic Synthesis* 17 (8) : 625-40. <https://doi.org/10.2174/1570179417666200713182441>.

Saikia, Phukan, Sharma, Sekhon, et Mahanta. 2014. « Interaction of XRCC1 and XPD Gene Polymorphisms with Lifestyle and Environmental Factors Regarding Susceptibility to Lung Cancer in a High Incidence Population in North East India ». *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention* 15 (5) : 1993-99. <https://doi.org/10.7314/APJCP.2014.15.5.1993>.

Santé publique France. 2023. « Imprégnation de la population française par les hydrocarbures aromatiques polycycliques. Programme national de biosurveillance, Esteban 2014-2016 ». Saint-Maurice : 88 p.

Schauer, Kleeman, Cass, et Simoneit. 1998. « Characterization and control of organic compounds emitted from air pollution sources ». Final version. Sacramento : California environmental protection agency - Air resources board - Research division.

Shields, P. G., G. X. Xu, W. J. Blot, J. F. Fraumeni, G. E. Trivers, E. D. Pellizzari, Y. H. Qu, Y. T. Gao, et C. C. Harris. 1995. « Mutagens from heated Chinese and U.S. cooking oils ». *Journal of the National Cancer Institute* 87 (11) : 836-41. <https://doi.org/10.1093/jnci/87.11.836>.

Singh, Chandrasekharan Nair, Kamal, Bihari, Manoj Kumar Gupta, Mudiam, Satyanarayana, et al. 2016. « Assessing hazardous risks of indoor airborne polycyclic aromatic hydrocarbons in the kitchen and its association with lung functions and urinary PAH metabolites in kitchen workers ». *Clinica Chimica Acta* 452 (janvier) : 204-13. <https://doi.org/10.1016/j.cca.2015.11.020>.

Sjaastad, Jørgensen, et Svendsen. 2010. « Exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), mutagenic aldehydes and particulate matter during pan frying of beefsteak ». *Occupational and Environmental Medicine* 67 (4) : 228-32. <https://doi.org/10.1136/oem.2009.046144>.

- Sjaastad AK, Svendsen K .2008. «Exposure to mutagenic aldehydes and particulate matter during panfrying of beefsteak with margarine, rapeseed oil, olive oil or soybean oil». *Ann Occup Hyg*, 52:739–745. doi:10.1093/annhyg/men060.
- Sjaastad, et Svendsen. 2009. « Exposure to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs), Mutagenic Aldehydes, and Particulate Matter in Norwegian à la Carte Restaurants ». *The Annals of Occupational Hygiene* 53 (7) : 723-29. <https://doi.org/10.1093/annhyg/mep059>.
- Song, Guo, Gong, Lv, Zhang, Wan, Li, et al. 2022. « Impact of cooking style and oil on semi-volatile and intermediate volatility organic compound emissions from Chinese domestic cooking ». Preprint. *Gases/Laboratory Studies/Troposphere/Chemistry* (chemical composition and reactions). Consulté le 9 janvier 2024. <https://doi.org/10.5194/acp-2022-320>.
- Straif, Baan, Grosse, Secretan, El Ghissassi, et Coglianò. 2006. « Carcinogenicity of household solid fuel combustion and of high-temperature frying ». *The Lancet Oncology* 7 (12) : 977-78. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(06\)70969-X](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(06)70969-X).
- Thiébaud, Knize, Kuzmicky, Hsieh, et Felton. 1995. « Airborne mutagens produced by frying beef, pork and a soy-based food ». *Food and Chemical Toxicology* 33 (10) : 821-28. [https://doi.org/10.1016/0278-6915\(95\)00057-9](https://doi.org/10.1016/0278-6915(95)00057-9).
- Tremblay, Bouchard, Gagnon, Cartier, Bégin, Larouche, et Dionne. 2000. « Les hydrocarbures aromatiques polycycliques : exposition et risques dans la population générale ». *Bulletin d'information en santé environnementale* 11 (3).
- Vainiotalo, et Matveinen. 1993. « COOKING FUMES AS A HYGIENIC PROBLEM IN THE FOOD AND CATERING INDUSTRIES ». *American Industrial Hygiene Association Journal* 54 (7) : 376-82. <https://doi.org/10.1080/15298669391354838>.
- Van Esterik. 2008. « Food culture in Southeast Asia ». *Greenwood Press*, 2008.
- Wallace, Emmerich, et Howard-Reed. 2004. « Source Strengths of Ultrafine and Fine Particles Due to Cooking with a Gas Stove ». *Environmental Science & Technology* 38 (8) : 2304-11. <https://doi.org/10.1021/es0306260>.
- Wei See, Karthikeyan, et Balasubramanian. 2006. « Health risk assessment of occupational exposure to particulate-phase polycyclic aromatic hydrocarbons associated with Chinese, Malay and Indian cooking ». *Journal of Environmental Monitoring* 8 (3) : 369. <https://doi.org/10.1039/b516173h>.
- Wilcke. 2000. « Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Soil — a Review ». *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 163 (3) : 229-48. [https://doi.org/10.1002/1522-2624\(200006\)163:3<229::AID-JPLN229>3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/1522-2624(200006)163:3<229::AID-JPLN229>3.0.CO;2-6).
- Wu, Chiang, Wang, Chang, et Ko. 1998. « Nitro-polycyclic aromatic hydrocarbon contents of fumes from heated cooking oils and prevention of mutagenicity by catechin ». *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis* 403 (1-2) : 29-34. [https://doi.org/10.1016/S0027-5107\(98\)00015-3](https://doi.org/10.1016/S0027-5107(98)00015-3).
- Wu, Lin, Pan, et Peng. 2019. « Risk assessment of personal exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons and aldehydes in three commercial cooking workplaces ». *Scientific Reports* 9 (1) : 1661. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-38082-5>.
- Xue, Yingbo, Ying Jiang, Shan Jin, et Yong Li. 2016. « Association between cooking oil fume exposure and lung cancer among Chinese nonsmoking women: a meta-analysis ». *OncoTargets and Therapy*, mai, 2987. <https://doi.org/10.2147/OTT.S100949>.

- Yao, Li, Wu, Hao, Yin, et Jiang. 2015. « Characteristics of PAHs from deep-frying and frying cooking fumes ». *Environmental Science and Pollution Research* 22 (20) : 16110-20. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4837-4>.
- Yin, Cui, Guan, Li, Wu, Ren, He, et Zhou. 2015. « Interaction between Polymorphisms in Pre-MiRNA Genes and Cooking Oil Fume Exposure on the Risk of Lung Cancer in Chinese Non-Smoking Female Population ». Sous la direction de Suzuki. *PLOS ONE* 10 (6) : e0128572. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0128572>.
- Yin, Li, Cui, Ren, Li, Wu, Guan, et al. 2016. « Polymorphisms in pre-miRNA genes and cooking oil fume exposure as well as their interaction on the risk of lung cancer in a Chinese nonsmoking female population ». *OncoTargets and Therapy*, janvier, 395. <https://doi.org/10.2147/OTT.S96870>.
- Yin, Zhihua, Zhigang Cui, Yangwu Ren, Haibo Zhang, Ying Yan, Yuxia Zhao, Rui Ma, Qianqian Wang, Qincheng He, et Baosen Zhou. 2014. « Genetic polymorphisms of TERT and CLPTM1L, cooking oil fume exposure, and risk of lung cancer: a case-control study in a Chinese non-smoking female population ». *Medical Oncology* 31 (8) : 114. <https://doi.org/10.1007/s12032-014-0114-5>.
- Yu, Chiu, Au, Wong, et Tang. 2006. « Dose-Response Relationship between Cooking Fumes Exposures and Lung Cancer among Chinese Nonsmoking Women ». *Cancer Research* 66 (9) : 4961-67. <https://doi.org/10.1158/0008-5472.CAN-05-2932>.
- Zeb. 2019. *Food Frying: Chemistry, Biochemistry, and Safety*. 1<sup>re</sup> éd. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119468417>.
- Zhang, Chen, et Tan. 2003. « Pulmonary carcinoma pathological change caused by COF in Balb/C mouse ». *Chinese journal of public health*.
- Zhang, Li, Quan, Tian, Yang, et Zhou. 2019. « A Case/Control Study: *AGBL1* Polymorphism Related to Lung Cancer Risk in Chinese Nonsmoking Females ». *DNA and Cell Biology* 38 (12) : 1452-59. <https://doi.org/10.1089/dna.2019.4851>.
- Zhang, Peng, Chen, et Wang. 2015. « Evaluation of Inhalation Exposure to Carcinogenic PM10-Bound PAHs of People at Night Markets of an Urban Area in a Metropolis in Eastern China ». *Aerosol and Air Quality Research* 15 (5) : 1944-54. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2015.07.0433>.
- Zhong, Goldberg, Gao, et Jin. 1999. « A case-control study of lung cancer and environmental tobacco smoke among nonsmoking women living in Shanghai, China ». *Cancer causes & control: CCC* 10 (6) : 607-16. <https://doi.org/10.1023/a:1008962025001>.

---

# ANNEXES

---

## Annexe 1 : Lettre de saisine



Direction  
générale du travail  
DGT

Service des relations et des  
conditions de travail  
SRCT

Sous-direction des conditions  
de travail, de la santé et de la  
sécurité au travail  
CT

Bureau des risques  
chimiques, physiques et  
biologiques CT 2

39-43, Quai André-Citroën  
75902 Paris Cedex 15

Téléphone : 01 44 38 26 73  
01 44 38 24 69

Télécopie : 01 44 38 26 48  
Services d'informations  
du public :

internet : [www.travail.gouv.fr](http://www.travail.gouv.fr)

Le Directeur général du travail

à

Monsieur le Directeur général  
de l'Agence nationale de sécurité sanitaire  
de l'alimentation, de l'environnement et du  
travail  
14, rue Pierre et Marie Curie  
94701 MAISONS-ALFORT Cedex

Paris, le

Affaire suivie par : Matthieu Lassus / Elise Vigier / Olivier Calvez

Tél. : 01 44 38 31 33 / 25 50 / 33 33

Mél : [matthieu.lassus@travail.gouv.fr](mailto:matthieu.lassus@travail.gouv.fr) / [elise.vigier@travail.gouv.fr](mailto:elise.vigier@travail.gouv.fr) /  
[olivier.calvez@travail.gouv.fr](mailto:olivier.calvez@travail.gouv.fr)

Objet: Identification de nouveaux procédés à inscrire à l'arrêté du 5 janvier 1993 modifié fixant la liste des substances, préparations et procédés cancérigènes.

Monsieur le Directeur général,

Le code du travail définit les agents chimiques cancérigènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction (CMR) comme étant soit :

- des substances ou mélanges répondant aux critères de classification CMR du règlement (CE) n° 1272/2008 relatif à la classification, l'étiquetage et l'emballage des substances et des mélanges (CLP) ;
- ou les substances, mélanges ou procédés inscrits dans la liste de l'arrêté du 5 janvier 1993 fixant la liste des substances, préparations et procédés cancérigènes.

Actuellement, cette liste par arrêté issue des directives européennes (à l'exception du formaldéhyde pour lequel la décision a été prise au niveau national) comporte les procédés suivants :

- Fabrication d'auramine ;
- Travaux exposant aux hydrocarbures polycycliques aromatiques présents dans la suie, le goudron, la poix, la fumée ou les poussières de la houille ;
- Travaux exposant aux poussières, fumées ou brouillards produits lors du grillage et de l'électroraffinage des mattes de nickel ;
- Procédé à l'acide fort dans la fabrication d'alcool isopropylique ;
- Travaux exposant aux poussières de bois inhalables ;
- Travaux exposant au formaldéhyde.

De ce classement découle l'application par les employeurs de la réglementation relative à la prévention des risques chimiques, impliquant notamment une obligation de substitution dès que cela est techniquement possible.

1



Par ailleurs, compte tenu de l'actualité réglementaire européenne concernant la révision de la directive 2004/37/CE relative aux cancérogènes et mutagènes au travail, et des échanges entre nos services sur le sujet, la présente saisine de la DGT demande à l'Agence d'apporter un avis scientifique et technique sur les nouveaux procédés CMR pouvant relever de l'arrêté de 1993.

Cet appui consistera à :

- Réaliser un état des lieux
  - o des organismes (par exemple CIRC<sup>1</sup>) qui proposent de classer certains procédés CMR sur la base de critères sanitaires et de décrire la méthodologie suivie à cette fin ;
  - o des réglementations existantes, européennes et françaises ayant conduit à classer un procédé CMR et de renseigner les argumentaires ayant conduit à cette classification.
- Proposer sur la base de critères jugés pertinents (dangers intrinsèques, circonstances d'exposition, mesures réglementaires en vigueur, priorité nationale ...), une démarche en vue de prioriser les procédés pouvant justifier d'un intérêt en vue d'une classification CMR.
- Identifier sur la base de cette démarche et des informations jugées pertinentes (travaux du CIRC, études scientifiques, mesures réglementaires en vigueur pour certaines substances chimiques, précédents travaux de l'Anses et partenaires, etc.), de nouveaux procédés CMR pouvant relever de l'arrêté de 1993 ou d'une réglementation européenne.
- De proposer une méthode permettant de conclure à la classification d'un procédé CMR et de définir des critères de classification pour justifier l'inclusion d'un procédé à l'arrêté de 1993.

En l'état actuel des analyses de la DGT, les travaux suivants sont considérés pour l'inclusion dans le projet d'arrêté :

- Travaux exposant aux fumées de soudage ;
- Travaux exposant à la silice cristalline ;
- Travaux exposant aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ;
- Travaux exposant aux cytostatiques.

Le choix de la DGT est motivé par la forte suspicion du caractère cancérogène de ces procédés sans qu'il existe de cadre réglementaire clair pour le définir, conjugué avec une forte occurrence en milieu professionnel, ces éléments ayant par ailleurs motivé également les prochaines évolutions réglementaires européennes sur ces mêmes agents chimiques (HAP ; silice cristalline ; composés du chrome, du nickel, etc.).

<sup>1</sup> Centre International de Recherche sur le Cancer.

Il est demandé à l'Anses de préciser le cas échéant s'il existe des données de nature à mieux préciser et/ou restreindre le champs des procédés visés par la DGT.

De plus, pour répondre aux objectifs du Plan Santé Travail (PST3), et en particulier aux actions 1.10<sup>2</sup> et 1.11<sup>3</sup> relatives à la prévention dans certains secteurs et la maîtrise des risques de poly-exposition, la DGT envisage à terme l'inclusion d'autres procédés dès lors qu'un faisceau d'indices permet de suspecter la présence d'agents CMR (agents mal identifiés au cours de procédés de synthèse, reconnaissance en maladie professionnelle, etc.).

L'Anses formalisera, sur la base de la méthodologie définie plus haut, son avis en identifiant des procédés d'intérêt pour l'arrêté.

L'avis concernant les procédés déjà identifiés par la DGT est attendu pour le premier trimestre de l'année 2018. Les autres éléments de la saisine feront l'objet d'un rapport pour la fin de l'année 2019.

  
Le directeur général du travail  
  
Yves STRUILLOU

<sup>2</sup> Action 1.10 : Accompagner les entreprises dans la mise en place d'une prévention efficace et effective.

<sup>3</sup> Action 1.11 : Améliorer la prise en compte de la poly-exposition et cibler certaines filières professionnelles particulièrement exposés aux risques cumulés.

## Annexe 2 : Proposition de l'INERIS de facteurs d'équivalence toxique pour les différents HAP (Doornaert et Pichard 2005)

Substances	FET
Acénaphène	0,001
Acénaphthylène	0,001
Anthracène	0,01
Benz[a]anthracène	0,1
Benzo[a]pyrène	1
Benzo[b]fluoranthène	0,1
Benzo[g,h,i]perylène	0,01
Benzo[k]fluoranthène	0,1
Chrysène	0,01
Coronène	0,001
Cyclopenta[c,d]pyrène	0,1
Dibenz[a,c]anthracène	0,1
Dibenz[a,h]anthracène	1
Fluoranthène	0,001
Fluorène	0,001
Indeno[1,2,3-cd]pyrène	0,1
Naphtalène	0,001
Phénanthrène	0,001
Pyrène	0,001

### Annexe 3 : Etablissement des scores selon la méthode de priorisation SIRIS

Nombre de travailleurs potentiellement exposés		Danger du procédé/de l'agent		Score
Classes	Pénalités	Classes	Pénalités	
Moins de 1 000 travailleurs	0	Procédés classés 1A ou 1B par le DECOS et/ou "Known to be human carcinogen" par le NTP	0	0
		Procédés classés 2A par le CIRC	0,5	0,5
		Procédés classés 1 par le CIRC	1	1
Entre 1 000 et 10 000 travailleurs	1,5	Procédés classés 1A ou 1B par le DECOS et/ou "Known to be human carcinogen" par le NTP	0	1,5
		Procédés classés 2A par le CIRC	1	2,5
		Procédés classés 1 par le CIRC	2	3,5
Entre 10 000 et 100 000 travailleurs	3	Procédés classés 1A ou 1B par le DECOS et/ou "Known to be human carcinogen" par le NTP	0	3
		Procédés classés 2A par le CIRC	1,5	4,5
		Procédés classés 1 par le CIRC	3	6
Entre 100 000 et 1 000 000 travailleurs	4,5	Procédés classés 1A ou 1B par le DECOS et/ou "Known to be human carcinogen" par le NTP	0	4,5
		Procédés classés 2A par le CIRC	2	6,5
		Procédés classés 1 par le CIRC	4	8,5
Plus de 1 000 000 travailleurs	6	Procédés classés 1A ou 1B par le DECOS et/ou "Known to be human carcinogen" par le NTP	0	6
		Procédés classés 2A par le CIRC	2,5	8,5
		Procédés classés 1 par le CIRC	5	11

## Annexe 4 : Extraction des huiles de schiste en France

Selon le service de recherche du Parlement européen (EPRS ou European parliamentary research service), la France possède les plus grandes réserves de gaz et d'huiles de schiste en Europe, après la Pologne (Erbach 2014). L'agence américaine d'information sur l'énergie (U.S. Energy Information Administration : EIA) a estimé les ressources en gaz et huiles de schiste en France, en 2013, réparties entre deux bassins (les bassins parisiens et du Sud-Est de la France) à environ 117,5 milliards de barils d'huiles de schiste (Energy information administration 2015) (Tableau 21).

**Tableau 21 : Ressources en gaz et huiles de schiste en France (en 2013) (Energy information administration 2015)**

Bassin de formation	Période de formation	Ressources en gaz de schiste		Ressources en huile de schiste	
		Disponible (en milliers de milliards de pieds cubes)	Techniquement récupérable (en milliers de milliards de pieds cubes)	Disponible (en milliards de barils)	Techniquement récupérable (en milliards de barils)
Bassin parisien	Jurassique inférieur	23,8	1,9	38,0	1,52
	Carbonifère	666,1	127,3	79,5	3,18
	Total	689,9	129,3	117,5	4,70
Bassin du Sud-Est	Jurassique inférieur	37,0	7,4	0	0
	Total	37,0	7,4	0	0

En France, l'exploitation des gisements de schiste a commencé en 1840 et s'est poursuivie par intermittence jusqu'en 1957 (Congress of the United States 1980). La fracturation hydraulique est le procédé le plus utilisé pour extraire le gaz et les huiles de schiste. Elle consomme d'énormes quantités d'eau (plusieurs milliers de mètres cubes pour un puits). Les nappes phréatiques peuvent ainsi être contaminées par les produits chimiques injectés si les installations ont été mal construites<sup>45</sup>. En France, la loi du 13 juillet 2011<sup>46</sup> a interdit l'exploration et l'exploitation des mines d'hydrocarbures liquides ou gazeux par fracturation hydraulique de la roche.

<sup>45</sup> [Europart.europa.eu](http://Europart.europa.eu) - Extraction du gaz de schiste : comment ça marche ?, consulté en février 2023.

<sup>46</sup> [LOI n° 2011-835 du 13 juillet 2011 visant à interdire l'exploration et l'exploitation des mines d'hydrocarbures liquides ou gazeux par fracturation hydraulique et à abroger les permis exclusifs de recherches comportant des projets ayant recours à cette technique \(1\) - Légifrance \(legifrance.gouv.fr\)](http://LOI_n°_2011-835_du_13_juillet_2011_visant_à_interdire_l'exploration_et_l'exploitation_des_mines_d'hydrocarbures_liquides_ou_gazeux_par_fracturation_hydraulique_et_à_abroger_les_permis_exclusifs_de_recherches_comportant_des_projets_ayant_recours_à_cette_technique_(1)_-Légifrance_(legifrance.gouv.fr)), consulté en février 2023.







**anses**

**CONNAÎTRE, ÉVALUER, PROTÉGER**

AGENCE NATIONALE DE SÉCURITÉ SANITAIRE  
de l'alimentation, de l'environnement et du travail

14 rue Pierre et Marie Curie 94701 Maisons-Alfort Cedex  
[www.anses.fr](http://www.anses.fr) — [@Anses\\_fr](https://twitter.com/Anses_fr)