

La Chronique du Dr Mesny

LE BULLETIN SANTÉ DE L'ASSOCIATION DNF

Fumée de cigarette:
Un concentré de produits
toxiques.

Sommaire

Le plant de tabac
infesté de produits
chimiques

Les additifs pour vous
rendre toujours plus
dépendant

La composition de la
fumée de tabac

La fumée de cigarette, un concentré de produits chimiques



Cette chronique concerne la fumée de cigarette, mais les autres formes de tabac fumé ne sont pas moins dangereuses et les produits toxiques issus de leur dégradation thermique sont comparables.

La feuille de tabac contient des hydrates de carbone (cellulose, pectine, amidon et sucres simples), des acides aminés comme la lignine, des protéines, des acides gras, des alcaloïdes, des polyphénols et de la chlorophylle, et le plant de tabac comme la feuille subissent de nombreux traitements avant la fabrication de la cigarette. Beaucoup de substances chimiques, naturelles ou synthétiques, sont donc déjà présentes dans la cigarette avant qu'elle ne soit consommée. Et d'autres seront néo-formées lors de la combustion.

Quand le fumeur l'allume, le bout distal de la cigarette se consume et émet de la fumée. La fumée est un aérosol, c'est-à-dire une suspension de fines gouttelettes d'eau et de microparticules dans une phase gazeuse. La combustion peut dépasser 1000 °C et nécessite la présence d'oxygène. Elle est habituellement incomplète et produit, outre la fumée, des cendres. Derrière la zone de combustion se produisent deux autres phénomènes, la pyrolyse et la distillation, qui ne nécessitent pas ou peu d'oxygène, mais peuvent se dérouler en présence d'autres gaz comme l'azote. Pyrolyse et distillation détruisent par la chaleur, entre 200 et 1 000 °C, les substances organiques du tabac en les transformant en résidus carbonés, huileux et gazeux peu volatils, qui participent aussi à la composition de la fumée.

La transformation à très haute température des

composants de la cigarette génère des dérivés en grande quantité, de 4 000 à 12 000 selon BAT. A. Rodgman et T.A. Perfetti, deux chimistes de R.J. Reynolds, en ont dénombré, en 2009, 8 089 dans le tabac lui-même et 7 357 dans la fumée, dont près d'une centaine sont toxiques et susceptibles de provoquer des maladies. La composition précise de la fumée d'une cigarette varie selon le type de tabac et les traitements qui lui ont été appliqués. Rodgman et Perfetti suggèrent qu'on pourrait trouver, en poursuivant les analyses en chromatographie en phase gazeuse, plus de 10 000 substances et peut-être jusqu'à 100 000.

La fumée de cigarette est donc un concentré de milliers de substances chimiques dont l'emploi, dans l'industrie ou chez les ménages, est assorti de règlements et de consignes de sécurité destinés à protéger les utilisateurs. Or, l'industrie du tabac ne communique que rarement ou tardivement sur leurs dangers.

Les différents courants de la fumée

Le fumeur qui tire sur sa cigarette inhale directement la fumée du courant primaire ou fumée principale, qui s'est refroidie à environ 30 °C. La façon de fumer et la ventilation du filtre vont influencer sur les quantités de substances inhalées.

Entre chaque bouffée qui ne dure que quelques secondes, la cigarette continue à émettre, et ce pendant plusieurs minutes, de la fumée, grâce à la porosité du papier et à la présence d'accélérateurs de combustion. C'est le courant secondaire ou fumée latérale, ou encore « de seconde main » des Anglo-saxons, responsable du **tabagisme passif**. La fumée latérale (courant secondaire) est plus toxique

que la fumée principale (courant primaire), elle est plus concentrée en composants chimiques, gazeux et particulaires, car la combustion est moins complète, elle se fait à plus basse température (600 °C) et le temps d'exposition pour le fumeur et son entourage est plus long. Cette fumée latérale contient plus de monoxyde de carbone (CO), de nicotine et de nitrosamines, et plus de goudrons. On y retrouve 10 fois plus de benzène, 30 fois plus d'aniline, 40 à 170 fois plus d'ammoniaque, selon les services de santé du Québec, et 7 fois plus de cadmium et 50 fois plus de formaldéhyde, selon le NIOSH américain (National Institute for Occupational Safety and Health).

Le courant secondaire représente plus de 80 % de la fumée de tabac environnementale (FTE) ou fumée de tabac ambiante (FTA). Les 20 % restants de la FTE sont rejetés par le fumeur à l'expiration, c'est ce que l'on appelle le courant tertiaire, qui n'a que peu d'intérêt sur le plan toxique.

Le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC, ou encore IARC en anglais, agence de l'OMS basée à Lyon et consacrée à la recherche et à la prévention du cancer) et le Surgeon General (Equivalent de notre Ministre de la Santé aux USA) ainsi que l'Agence de protection environnementale des États-Unis (US EPA) ont considéré que la fumée du courant secondaire, de même que le tabagisme actif, étaient des cancérogènes certains pour l'homme (groupe 1)

(cf. classification des produits selon leur cancérogénicité - voir tableau page 7).

Depuis quelques années, on a mis en évidence les dangers de la fumée tertiaire (à ne pas confondre avec le courant tertiaire) ou de troisième main, responsable du **tabagisme ultra-passif**. Cette fumée tertiaire est constituée par les microparticules restées en suspension dans l'air, puis déposées avec les poussières sur les surfaces, sols et murs, incrustées dans les textiles comme les moquettes, les sièges de voiture, les coussins. Ces particules, qui résistent à l'aération des locaux, peuvent se remettre en suspension lors d'un mouvement. Elles sont toxiques, surtout pour les enfants en bas âge qui les inhalent ou les ingèrent en suçant leurs doigts.

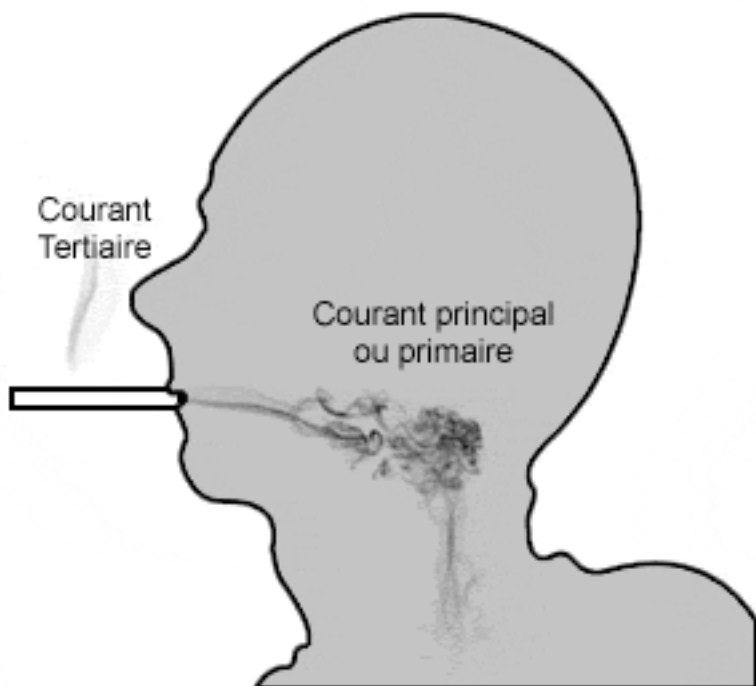
Courant latéral ou secondaire



Courant Tertiaire



Courant principal ou primaire



Composition de la fumée

La phase gazeuse, 85 % de la fumée, ne se voit pas. Elle est constituée d'azote et d'oxygène (les composants principaux de l'air, constituant 75 % de la fumée totale), de gaz carbonique (12 % à 15 %), de gaz toxiques (monoxyde de carbone (3 % à 6 %), cyanure d'hydrogène (0,1 % à 0,2 %) et de composés organiques volatils, aldéhydes, ammoniac, cétones (1 % à 3 %), etc.

La phase particulaire, 15 % de la fumée, est la fumée visible qui contient les particules (4 % de la fumée) et de l'eau. Dans ces particules, on trouve la nicotine et ce que l'on appelle les goudrons, en anglais «tar» (total aerosol residue). C'est le résidu piégé par les filtres d'une machine à fumer qui permet d'étudier toutes les variétés de cigarettes selon les normes ISO. Ce résidu est constitué d'hydrocarbures aromatiques polycycliques ou hétérocycliques, de dérivés nitrés, de métaux et d'autres molécules comme l'acroléine. La fumée de tabac contient 5 milliards de particules/ml, c'est le polluant domestique le plus concentré.

Toutes ces substances gazeuses ou particulaires peuvent avoir des effets cancérogènes, irritants, oxydants, et la taille des particules, en majorité ultrafines (entre 0,1 et 1 micromètre, en moyenne 0,2 micromètre), joue par elle-même un rôle dans la pathogénicité de la fumée du tabac. Plus elles sont fines, mieux elles diffusent à travers les alvéoles pulmonaires.

| Pourquoi autant de produits chimiques ? Les étapes de la culture.

Pour cultiver le tabac, du semis des graines jusqu'à la récolte des feuilles, et obtenir le meilleur rendement, le tabaculteur va employer de nombreux produits chimiques sur une durée de 5 à 6 mois. Jusqu'à 150 substances peuvent être nécessaires, selon www.stop.tabac.ch. Le Centre de coopération pour les recherches scientifiques relatives au tabac, le Coresta, donne une liste de 120 agents de protection des récoltes dans son guide des limites maximales de résidus.



- **Les semences** et les lits de semence sont souvent traités par deux fumigants, le bromure de méthyle (un hydrocarbure halogéné, classé dans le groupe 3 par le CIRC, toxique et écotoxique) ou le dazomet (un hétérocycle soufré), pour éviter les attaques de ravageurs (www.ilo.org). Certaines semences sont d'emblée enrobées de pesticides.

- La culture en plein champ nécessite :

• **un désherbage**, avant et pendant la culture, avec des herbicides comme le glyphosate, un organophosphoré désherbant systémique non sélectif, au sujet duquel existe une faible présomption de lien avec les leucémies de l'adulte (cité par le Pr G. van Maele Fabry) ;

• **des engrais minéraux** à base d'azote, potassium et phosphore. Les engrais phosphatés sont susceptibles d'être contaminés par le polonium 210, un produit radioactif. Le plant, qui est forcé, assimile tous les éléments métalliques du sol où il est cultivé, dont des métaux lourds (cadmium, plomb...) qui seront retrouvés dans le tabac séché ;

• **des insecticides et nématocides**, en pulvérisation ou dans le sol, pour lutter contre les ravageurs : les pucerons et autres insectes, les vers blancs et autres vers... Les plus utilisés sont l'aldicarbe (un carbamate), le 1-3 dichloropropène (un hydrocarbure halogéné, classé 2B par le CIRC), l'isothiocyanate de méthyle, dérivé du dazomet (interdit en Europe... avec dérogations) ;

• **des fongicides** contre les champignons comme l'oïdium, la pourriture des racines et autres attaques fongiques. Parmi ces fongicides, le mancozèbe (un carbamate) dont un métabolite peut persister dans le sol jusqu'à 198 jours, est classé cancérigène probable (faible présomption de lien avec les leucémies et le mélanome de l'adulte, Pr G. van Maele Fabry), le bromure de

méthyle, déjà cité, qui est réputé éliminer tous les nuisibles, du rat aux champignons microscopiques, ou la chloropicrine, gaz de combat de la Première Guerre mondiale. La toxicité de ces deux derniers produits est classée 1a par l'OMS, « 1a » représentant le niveau de toxicité intrinsèque le plus élevé ;

• **des inhibiteurs de germination**, pour empêcher le bourgeonnement après étêtage, dont l'hydrazide maléique, une pyridazine dont les dérivés méthylés sont classés catégorie 2 dans la classification européenne CLP de carcinogénéité.

- Après récolte, pour éviter des attaques pendant le stockage, les feuilles doivent encore être traitées, souvent par le bromure de méthyle qui va laisser des résidus de brome dans le tabac séché. Des nitrosamines, agents cancérigènes du groupe 1 du CIRC, vont se former pendant cette période.

Tous ces pesticides ont une demi-vie plus ou moins longue, de quelques heures à plusieurs mois. Leurs métabolites sont parfois plus toxiques que le produit originel. Ils sont habituellement utilisés en association pour renforcer leurs effets, ce qui potentialise leur toxicité. Ils peuvent contaminer le sol ou ruisseler jusque dans les nappes d'eau et recontaminer les plantes par irrigation.

R. Proctor, dans « Golden Holocaust », assure que certaines récoltes subissent jusqu'à 16 traitements différents. En 1997, les USA avaient employé en tabaculture 12 millions de tonnes de pesticides, soit 15 % de l'utilisation globale des pesticides du pays. 37 substances différentes étaient listées pour la protection du tabac, dont certaines étaient interdites en Europe et en France.

Tous ces produits comportent un danger pour les tabaculteurs, mais aussi pour les fumeurs.

En France, on pratique une rotation des cultures pour diminuer

chimiques dans le plant de tabac ?



l'emploi des pesticides. Les coopératives de planteurs de tabac respectent des protocoles précis d'emploi de produits autorisés, homologués et utilisés selon des méthodes de bonne pratique. Les résidus sont dosés dans le tabac vert, le tabac sec et la fumée. L'Union européenne a créé un fonds communautaire pour améliorer la qualité du tabac et réduire la pollution par les intrants. Elle surveille l'impact des produits sur l'environnement et l'homme et impose aux États membres un plan de réduction des pesticides. Cependant, des mois ou des années peuvent s'écouler entre l'interdiction d'un produit et l'application d'un décret et des autorisations temporaires ou des dérogations peuvent être édictées en urgence.

De plus, la culture du tabac se fait pour 90 % dans des pays en développement. L'Europe importe 70 % des tabacs qu'elle consomme alors qu'elle n'en produit que 4,5 %. La Chine (1er producteur) et le Brésil (3e producteur après l'Inde), qui ont de forts rendements à l'hectare, sont gros consommateurs d'intrants sous une protection moins sévère de l'environnement et de la biodiversité. Et, du fait de la mondialisation, le consommateur français ne connaît pas la provenance du tabac des cigarettes qu'il achète.

La présence de résidus de pesticides ou d'engrais dans le tabac séché a-t-elle des conséquences sur la santé des fumeurs et de leur entourage ?

Ces pesticides appartiennent principalement à quatre familles : néonicotinoïdes (dont font partie le Gaucho® et le Cruiser®), organophosphorés (comme le glyphosate ou Roundup®), carbamates et organochlorés. Le CIRC a publié une liste de 68 pesticides ou familles de pesticides susceptibles d'être cancérogènes, dont 2 du groupe 1, 3 du groupe 2A, 19 du groupe 2B et 44 du groupe 3. ASH (Action on Smoking and Health) a communiqué sur les

risques de l'utilisation d'aldicarbe (un carbamate classé 3 par le CIRC), d'imidaclopride (néonicotinoïde), de chlorpyrifos (organophosphoré), de 1-3 dichloropropène (hydrocarbure halogéné classé 2B), de bromure de méthyle (halocarbure classé 3), toxiques pour l'homme et/ou écotoxiques. Le bromure de méthyle attaque la couche d'ozone et est interdit en France depuis 2005, mais le protocole de Montréal, accord international pour la protection de la couche d'ozone, l'interdit seulement à partir de 2015.

Des résidus de pesticides et autres produits chimiques sont retrouvés dans le tabac sec, mais aussi dans la fumée. Ainsi 3 nitropesticides - flumetraline, pendiméthaline (un produit bioaccumulable classé 1 B pour sa toxicité par l'OMS) et trifluraline - ont été décelés dans les particules de la fumée de 15 types différents de cigarettes, à des concentrations de quelques dizaines de nanog/cigarette. Les deux derniers sont des perturbateurs endocriniens et les trois sont possiblement cancérogènes, classés 3 par le CIRC (A.J. Dane, Analytical Chemistry, 2006).

Une étude publiée en mars 2003 par le GAO, la Cour des comptes américaine (US GAO, Pesticides on Tobacco), se basant sur les travaux de l'US EPA (l'agence de protection de l'environnement des USA) en vue de la prolongation ou de l'enregistrement de l'homologation de 11 pesticides parmi les plus utilisés aux États-Unis, dont le chlorpyrifos, l'hydrazide maléique et la pendiméthaline, concluait que le risque à court terme pour le fumeur était minime, contrairement à celui subi par l'agriculteur. En effet, soit les résidus retrouvés dans le tabac vert ou sur les feuilles de tabac séché étaient inférieurs à 0,1 ppm (parties par millions), soit, lorsque ce taux était supérieur, on ne trouvait plus de résidu dosable dans la fumée du tabac. L'article précisait cependant que l'évaluation des dangers ne portait pas sur le long terme. **Le danger de très petites doses quotidiennes inhalées pendant plusieurs années par le fumeur n'est donc pas pris en considération.**

Pourquoi autant de produits chimiques sont-ils ajoutés à la cigarette pendant sa fabrication?

Ou comment la rendre plus attractive ?

Les feuilles de tabac envoyées à l'usine vont passer par plusieurs étapes avant de devenir cigarettes.

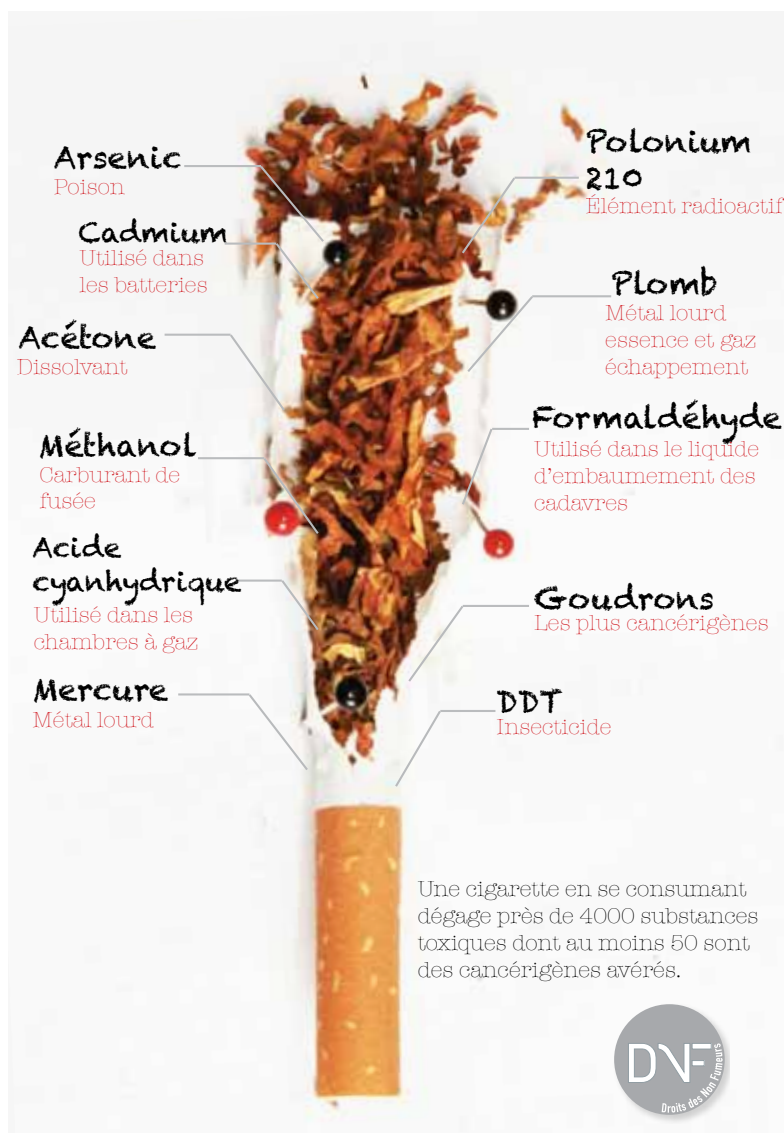
Les sous-produits (débris de tiges et de feuilles) mélangés à un liant à base de méthyl cellulose servent à la fabrication du tabac reconstitué. La combustion de la cellulose libère de l'acroléine, une substance irritante, et des hydrocarbures aromatiques polycycliques, agents cancérigènes (Centre allemand de recherche contre le cancer).

Parties nobles et sous-produits transformés de la feuille de tabac sont mélangés. On y ajoute des humectants (glycérol, propylène glycol), des épaississants (dont encore de la cellulose qui peut représenter 6 % du poids de la cigarette hors filtre), des conservateurs, des modificateurs de combustion qui sont des sels à base de calcium, potassium ou du dioxyde de titane (cancérigène 2B du CIRC), des produits de blanchiment des cendres comme le dioxyde de titane, et des colorants.

Le produit obtenu reçoit pour finir des additifs destinés à augmenter son attractivité et son acceptabilité : des exhausteurs de goût et des fixateurs d'arômes, naturels ou synthétiques, dont les plus dangereux sont le menthol et les sucres, qui, outre leurs effets sur l'addictivité, vont exercer un effet toxique. Le menthol génère des microparticules qui ont un effet inflammatoire sur les tissus bronchiques, et les sucres sont des précurseurs d'aldéhydes dont certains sont des cancérigènes avérés. **Malheureusement, les additifs sont autorisés sur la base de leur toxicité avant combustion et pyrolyse, et non après.**

G. Connolly et D. Lympers, du Département de santé publique du Massachusetts (www.tobaccodocuments.org), mettaient l'accent en 1998 sur le fait que certains additifs des cigarettes destinés en premier lieu à l'alimentation peuvent se révéler toxiques quand ils sont inhalés, la pyrolyse produisant de nouvelles substances qui créent un risque supplémentaire pour le fumeur. Stanton A. Glantz de l'Université de Californie écrit dans la revue médicale PLoS Medicine (20 déc. 2011) : « **Les additifs induisent une augmentation de plus de 20 % des produits cancérigènes** ».

Le papier à cigarette, à base de cellulose, est traité par de nombreux additifs à effet de le blanchir et d'améliorer sa combustibilité, et la marque est imprimée à l'encre sur le papier. Les encres doivent être exemptes de métaux lourds. Des adhésifs sont nécessaires pour fermer le tube et le faire adhérer au filtre. Les plus utilisés sont l'acétate de polyvinyle et l'acétate de vinyle éthylène, ces hydrocarbures aromatiques pouvant libérer, lors de la combustion, des molécules d'acétate de vinyle, cancérigène classé 2 B par le CIRC. Les filtres à base de cellulose libèrent la même molécule. Or, 90 % des cigarettes sont vendues avec filtre et 90 % des filtres sont à base de cellulose.



Classification des dangers des produits chimiques pour la santé humaine

Concernant seulement la cancérogénicité :

La plus utilisée est celle du CIRC, le Centre international de recherche sur le cancer (IARC en anglais) qui comprend des agents et des circonstances d'expositions cancérogènes. Les cinq catégories correspondent à différents niveaux de preuves de cancérogénicité pour l'être humain.

- **Groupe 1** : l'agent est cancérogène pour l'homme.
- **Groupe 2A** : l'agent est probablement cancérogène pour l'homme.
- **Groupe 2B** : l'agent est peut-être cancérogène pour l'homme.
- **Groupe 3** : l'agent est inclassable quant à sa cancérogénicité pour l'homme.
- **Groupe 4** : l'agent n'est probablement pas cancérogène pour l'homme.

La classification de l'Agence de protection de l'environnement américaine (US EPA) ajoute un item de non-carcinogénicité :

- A : cancérogène pour l'homme ;
- B : cancérogène probable pour l'homme ;
- B₁ : évidence limitée de carcinogénicité venant des études épidémiologiques ;
- B₂ : évidence suffisante venant des études animales ;
- C : cancérogène possible pour l'homme ;
- D : pas classifiable en tant que cancérogène pour l'homme ;
- E : évidence de non-carcinogénicité.

La classification européenne (CLP) est plus large

Elle concerne les effets cancérogènes, mutagènes et reprotoxiques (CMR) des substances chimiques qui, par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée, présentent des dangers pour la santé humaine. C'est la seule classification réglementaire en France.

Effets et classe de danger	Catégories	Définitions
Cancérogènes	1 A	Substances dont le potentiel cancérogène pour l'être humain est avéré.
	1 B	Substances dont le potentiel cancérogène pour l'être humain est supposé
	2	Substances suspectées d'être cancérogènes pour l'homme.
Mutagènes	1 A	Substances dont la capacité d'induire des mutations héréditaires dans les cellules germinales des êtres humains est avérée.
	1 B	Substances dont la capacité d'induire des mutations héréditaires dans les cellules germinales des êtres humains est supposée.
	2	Substances préoccupantes du fait qu'elles pourraient induire des mutations héréditaires dans les cellules germinales des êtres humains.
Toxiques pour la reproduction	1 A	Substances dont la toxicité pour la reproduction humaine est avérée.
	1 B	Substances présumées toxiques pour la reproduction humaine.
	2	Substances suspectées d'être toxiques pour la reproduction humaine.

Cancérogènes (C) : substances et mélanges qui peuvent provoquer un cancer ou en augmenter la fréquence.

Mutagènes (M) : substances et mélanges qui peuvent produire des défauts génétiques héréditaires ou en augmenter la fréquence.

Toxiques pour la reproduction (R) (reprotoxique) : substances et mélanges qui peuvent produire des effets nocifs non héréditaires dans la progéniture ou augmenter leur fréquence, ou porter atteinte aux fonctions ou capacités reproductives.

Que trouve-t-on dans la fumée ? Les produits toxiques générés par la combustion et la distillation.

La Food and Drug Administration a établi la liste de 93 produits identifiés comme nocifs et potentiellement nuisibles dans les produits du tabac et la fumée (www.fda.gov/tobaccoproducts). Outre les gaz, cinq grandes classes d'agents cancérigènes sont retrouvées dans la fumée de tabac : les hydrocarbures aromatiques polycycliques, les amines aromatiques, les nitrosamines, les métaux, métalloïdes et radioéléments et les composés volatils : aldéhydes, phénols et hydrocarbures volatils. Mais il ne faut pas oublier qu'en dehors de sa cancérogénicité, la fumée exerce des effets mutagènes, reprotoxiques et irritants, produit des radicaux libres, et est toxique pour les poumons et l'appareil cardio-vasculaire.



Phase gazeuse

La phase gazeuse n'est pas retenue par le filtre de la machine à fumer. Hofmann et Hoffmann y ont trouvé, en 1997, entre 400 et 500 gaz volatils et 500 composés organiques volatils, en relation directe avec le taux de goudrons.

Les principaux gaz, toxiques ou non, retrouvés dans la fumée sont les oxydes de carbone, les oxydes d'azote, le cyanure d'hydrogène, l'ammoniac et des composés organiques volatils dont des aldéhydes et des cétones.

Les gaz

Le gaz carbonique (CO₂ ou dioxyde de carbone) est produit par la respiration et par la combustion incomplète des matières organiques. Il représente 13 % de la fumée du tabac et n'est pas toxique à faible dose.

Le monoxyde de carbone (CO) est lui aussi produit par la combustion incomplète de matières organiques. Très diffusible, il se fixe à l'hémoglobine circulante avec une affinité 240 fois supérieure à celle de l'oxygène (O₂) dont il empêche la fixation, sa liaison est plus stable et prolongée, et sa demi-vie est de 4 à 5 heures en air ambiant. C'est un gaz asphyxiant. Le transport de l'O₂ et sa cession aux tissus sont diminués. En présence de CO, les muscles et le cœur du fumeur auront des difficultés à s'adapter à l'effort, avec un risque de mort subite par vasospasme des

coronaires. Le CO altère la paroi des vaisseaux et diminue la déformabilité des globules rouges, d'où le risque de thrombose. C'est aussi un gaz reprotoxique.

Le taux de CO par cigarette ne doit pas dépasser 10 mg selon les normes européennes. Il varie de 0,5 à 13 mg, mais le fumeur pourrait en inhaler jusqu'à 41 mg.

En consultation de sevrage, il est facile de mesurer le CO expiré, qui témoigne de la consommation de tabac et de l'intensité du fumage, à l'aide d'un CO-testeur. Les valeurs sont alors exprimées en ppm (1 ppm = 1,15 microgramme/m³). Selon le degré d'intoxication tabagique, les chiffres varient de 6 à plus de 50 ppm. Or un taux de 8,5 ppm est considéré en Europe comme la limite d'alerte de pollution pour l'air des villes, et au-delà de 35 ppm on doit évacuer les parkings souterrains.

L'azote (N₂) est le composant majeur de l'air que nous respirons (78 %). Les oxydes d'azote (NO, NO₂ et N₂O) n'existent habituellement qu'à l'état de traces, mais sont produits par la combustion de la cigarette. NO et NO₂ sont à l'origine de la production de radicaux libres dans l'organisme et sont des gaz irritants. Dans l'environnement, NO₂ participe au phénomène des pluies acides et à celui de l'effet de serre.

Le cyanure d'hydrogène (HCN), ou acide cyanhydrique en solution aqueuse, a été utilisé dans les chambres à gaz et pen-

ar la combustion, la pyrolyse

dant la guerre entre l'Iran et l'Irak. On le trouve dans les fumées d'incendie. À doses toxiques, il provoque une anoxie cellulaire. Pour l'être humain, la dose mortelle est de 50 milligrammes. En tabaculture, c'est un fumigant herbicide et rodenticide. Selon le CDC (Center for Disease Control des USA), le tabac est l'une des principales sources d'exposition au cyanure pour les personnes qui ne travaillent pas dans l'industrie. On pourrait en trouver 134 à 379 microg/cigarette. C'est un gaz irritant. L'OMS a publié en 2010 une affiche détaillant son action : « La fumée de tabac contient de l'acide cyanhydrique ; ce produit peut causer des maux de tête, des étourdissements, de la fatigue, des nausées, des vertiges et des maux d'estomac chez les fumeurs et non-fumeurs de leur entourage ».

L'ammoniac (NH₃) est un gaz irritant. En solution aqueuse, c'est l'ammoniaque. Il joue un rôle physiologique. Fabriqué à partir des acides aminés, il entre dans la régulation de l'équilibre acide-base de l'organisme en permettant l'élimination de l'azote par les reins. Il a été ajouté au tabac pour faciliter l'absorption de la nicotine à travers les poumons et augmenter la dépendance. Selon le CDC, on pourrait en trouver 10 à 500 microg/cigarette.

Les composés organiques volatils (COV)

Les COV trouvés dans la fumée de cigarette appartiennent aux classes des aromatiques (phénols) et des carbonyles (cétones et aldéhydes).

Les polyphénols, dérivés des sucres des feuilles, sont des composants de l'arôme du tabac et peuvent représenter, selon le mode de séchage, 5 % à 10 % du poids sec des feuilles. Le plus abondant est l'acide chlorogénique qui en brûlant se transforme en catéchol, cocarcinogène en combinaison avec le benzopyrène et immunosuppresseur.

Les aldéhydes sont formés par la combustion des sucres naturels et du tryptophane des feuilles de tabac, de même que par celle des additifs comme le glycérol. L'acétaldéhyde est un produit irritant classé cancérigène 2B par le CIRC. Un de ses dérivés est l'harmane. On trouve des quantités variables d'acétaldéhyde, de quelques dizaines à quelques centaines de microg/cigarette, soit des quantités nettement supérieures à celles d'autres cancérigènes. Deux autres aldéhydes sont très toxiques : le formaldéhyde, dont un dérivé est la norharmane, et l'acroléine. Harmane et norharmane sont des IMAO, inhibiteurs des mono-amino-oxydases, les enzymes qui détruisent les neuro-transmetteurs (dopamine, sérotonine et noradrénaline). Cet effet IMAO potentialise donc l'effet addictif de la nicotine. En 1982, le Surgeon General a inclus harmane et norharmane dans les agents toxiques et cancérigènes. On les trouve à des taux allant de 1 à 10 microg/cigarette. Le formaldéhyde (ou formol) est pour sa part irritant, cancérigène du groupe 1, mutagène et reprotoxique.

L'acroléine est aussi un aldéhyde produit par la combustion de la glycérine ou du glycérol utilisés comme humectants du

tabac. Une cigarette peut en contenir 2 % de son poids, et, selon les auteurs, le fumeur en inhale de 50 à 500 microg/cigarette, soit jusqu'à 1 000 fois plus que de benzopyrène. L'acroléine provoque des mutations de l'ADN touchant le gène p53, suppresseur de tumeurs, et inhibe la capacité de réparation de l'ADN. On trouve ces mutations dans les tissus de la bouche des fumeurs (Z. Feng, PNAS, 2006, 103 : 42). L'acroléine est aussi un toxique respiratoire et cardio-vasculaire.

Les cétones sont des solvants organiques, utilisés pour la fabrication de la cellulose. On en trouve, selon les auteurs, de 50 à 500 microg/cigarette pour l'acétone, et de 10 à 120 microg/cigarette pour la 2-butanone.

Autres composés volatils

Oxyde d'éthylène et de propylène sont décelés dans la fumée de tabac. L'oxyde d'éthylène est classé cancérigène catégorie 1B, mutagène catégorie M1B selon la classification CLP de l'Union européenne et cancérigène groupe 1 par le CIRC.

Le chlorure de vinyle, qui est un gaz à température ambiante, et ses copolymères sont utilisés dans la fabrication des filtres de cigarettes, et on en a trouvé 5,6 à 28 nanog/cigarette (IARC Monogr. Eval. Carcinog. Risk Chem. Hum., 1979, 19 : 377). Ce produit interagit avec l'ADN et est classé cancérigène avéré par le CIRC (groupe 1) pour deux formes de cancer du foie.

Enfin, il a été signalé (Diekmann et coll., 2002 et ATSDR, 1992, cités par Santé Canada) que les cigarettes munies d'un filtre en cellulose libéraient entre 200 et 400 nanog/cigarette d'**acétate de vinyle**, cancérigène classé 2B par le CIRC.

Phase particulaire

Les goudrons n'existent pas dans la feuille de tabac, ils sont formés lors de la combustion de toute substance organique. En brûlant dans des conditions standards, le tabac produit jusqu'à 10 mg de goudrons par cigarette, limite autorisée en Europe, soit 200 mg de goudrons par paquet de cigarettes fumées. Ils sont constitués principalement d'hydrocarbures, métaux, nitrosamines et radicaux libres.

Hydrocarbures

Hydrocarbures aromatiques insaturés

Le benzène est formé à partir de la combustion des sucres et de la cellulose. C'est un carcinogène avéré pour l'homme (groupe 1 du CIRC). Pour le CDC, on en trouve de 39 à 88 microg/cigarette. Dans l'industrie, il est responsable de leucémies. On trouve aussi du toluène, du styrène, de l'isoprène et du xylène dans la fumée de cigarettes.

Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Ils font partie des polluants organiques persistants. Rodgman et Perfetti ont dénombré 539 HAP dans la fumée de tabac. Les

Composition de la fumée de tabac

benzopyrènes sont les plus connus, mais on peut citer aussi les dérivés du naphthalène, du phénanthrène et de l'anthracène. Le benzo(a)pyrène est classé 1 par le CIRC, c'est un cancérigène avéré. Trois autres HAP sont cancérigènes probables (groupe 2A du CIRC) et onze cancérigènes possibles (2B).

Un métabolite du benzo(a)pyrène (le benzo(a)pyrène diol époxyde, BPDE) provoque des mutations de l'ADN et cible le gène p53, suppresseur de tumeur.

Amines aromatiques

Ce sont des hydrocarbures aromatiques polycycliques comportant au moins un radical amine, NH₂. Le tabac représente la principale source d'exposition environnementale aux amines aromatiques cancérigènes, qui dérivent de la pyrolyse des protéines de la feuille de tabac à une température supérieure à 475 °C. On les soupçonne d'être des initiatrices des cancers de la vessie : 4 d'entre elles sont classées dans le groupe 1 par le CIRC, et d'autres dans le groupe 2A. Les plus connues sont des dérivés de l'aniline, de la toluidine, du naphthalène. On trouve de 200 à 1330 nanogrammes d'amines aromatiques par cigarette.

Amines hétérocycliques

Aminocarboline comme la quinoline, et aza arènes (acridine et carbazole) sont formées par la pyrolyse des acides aminés et des protéines. On en trouve de 0,3 à 260 nanog/cigarette selon Hoffmann en 2001, 10 nanog/cigarette pour Rodgman et Perfetti (2013), mais pour des auteurs plus anciens (Dong 1990) leur taux serait plus élevé, de l'ordre du microgramme.

Les aza arènes et surtout la dibenzo(a,j)acridine sont des initiateurs de tumeurs (2A et 2B).

Le cas de la cellulose

La cellulose est un constituant majeur du tabac et de la cigarette. La totalité de la fibre est brûlée lors du fumage, produisant des substances irritantes pour les yeux et les voies respiratoires supérieures, comme l'acroléine, des cancérigènes comme les hydrocarbures aromatiques polycycliques, le benzo(a)pyrène, le benzène, l'acétaldéhyde et le formaldéhyde.

Radioéléments : polonium 210 et plomb 210

Ces radioéléments naturels proviennent à la fois des minéraux accumulés dans le sol, des retombées radioactives qui vont coller aux poils des feuilles de tabac, et des engrais phosphatés à base d'apatite ou phosphate de calcium, un minéral extrait des roches magmatiques. Le polonium 210, comme le plomb 210, est le produit de la lente libération du radon (classé cancérigène de rang 1 par le CIRC) à partir de l'uranium accumulé dans ces roches.

L'industrie du tabac a la possibilité de diminuer la concentration de ces radioéléments dans les feuilles de tabac, mais le lavage ferait perdre une partie des arômes de la feuille, et de ce fait a été écarté.

Quand le tabac est brûlé, le polonium est volatilisé entre 600 °C et 800 °C, les vapeurs radioactives ne sont pas arrêtées par le filtre de la cigarette. Le polonium pénètre dans et à travers les poumons. Étant soluble, il est distribué dans tout le corps ; on le trouve ensuite dans le sang et les urines. En 1965, le New England Journal of Medicine révélait que

les poumons des fumeurs en contenaient cinq fois plus que ceux des non-fumeurs. La dose de radiation subie par les os du fumeur serait supérieure de 30 % par rapport aux non-fumeurs (dossier Crirad, spécial polonium, mars 2007).

La radioactivité citée dans différents articles varie de 16,6 à 75 milliBecquerels/cigarette, dont une grande partie se retrouve dans les cendres. Des fumeurs d'un paquet de 20 cigarettes par jour pourraient inhaler une moyenne de 123 mBq de Po et de Pb210 (A. E. Khater, J Environ Radioact. 2004 ; 71(1) : 33-41). Les écarts entre auteurs sont dus au fait que les tabacs américains ont été plus largement contaminés par le radon que les tabacs européens. La radioactivité des cigarettes chinoises a également augmenté grâce à une consommation croissante d'engrais phosphatés.

Le polonium émet un rayonnement alpha, et c'est le seul radioélément qui provoque directement les cancers du poumon par inhalation. Pour l'AIEA (Agence internationale de l'énergie atomique), la consommation d'un paquet de cigarettes par jour correspondrait à une exposition à 53 milliSievert/an, soit plus de 20 fois supérieure à la radioexposition naturelle qui est en moyenne de 2,5 mSv/an en France. Mais l'impact du rayonnement sur l'homme serait en réalité moins important, et pour une équipe de Toulouse, elle atteindrait seulement 0,4 mSv/an pour un fumeur (Le Monde, 7 janv. 2009).

Métaux dits lourds ou traces, et ions métalliques

Ceux qui sont considérés comme les plus toxiques sont l'arsenic, le béryllium, le brome, le cadmium et le chrome VI.

L'arsenic est classé cancérigène du groupe 1 par le CIRC, mais son utilisation comme insecticide du tabac est devenue rare.

Le béryllium, cancérigène 1 du classement CLP de l'UE, est un métal non radioactif retrouvé dans les sols cultivables et dont un fumeur quotidien d'un paquet pourrait inhaler 1 microg/jour, soit 4 fois l'exposition naturelle de la population (Bruce et Odin, 2001).

Le cadmium peut venir du sol ou des engrais phosphatés naturels ou de synthèse. Il est particulièrement toxique (groupe 1 du CIRC) et susceptible comme le polonium de provoquer des cancers du poumon. 20 % de la teneur en cadmium des cigarettes serait inhalée. On en a décelé 13 à 160 nanog/cigarette (rapport n°967 de l'OMS, 2012). C'est un toxique cumulatif dont la demi-vie dépasse 15 ans. On en trouve deux fois plus dans le sang du fumeur que dans celui du non-fumeur.

Le chrome hexavalent (Cr VI) est toxique (groupe 1 du CIRC), contrairement au chrome trivalent (Cr III) qui participe dans l'organisme à des processus physiologiques. On trouve le Cr VI en plus grande quantité dans les poumons des fumeurs, sans qu'on sache s'il provient du sol ou d'une transformation de Cr III en Cr VI lors de la combustion.

Le brome vient du sol ou est apporté par le dibromure de méthyle. Dans la fumée, Häsänen et coll. en 1990 ont trouvé 1 microg/cigarette dans la phase particulaire, et 5 microgrammes dans la phase gazeuse. Le brome est toxique pour le système nerveux et la thyroïde.

Des traces de plomb non radioactif (groupe 2 A du CIRC), de cuivre, de cobalt, de manganèse, de mercure, de nickel (80 nanog/cigarette), de zinc et de sélé-



40 ingrédients toxiques de la fumée de tabac (sur une liste de 93)

Cancérogène
Toxique respiratoire
Toxique cardiovasculaire
toxique reproduction

nium ont aussi été extraites de la fumée de cigarettes (4^e rapport sur les bases scientifiques de la réglementation des produits du tabac, OMS, 2012).

Les concentrations de ces métaux varient selon la provenance du tabac. Selon le rapport de l'OMS, on a trouvé 5 à 10 fois plus de nickel (en microg/cigarette) dans les cigarettes indiennes analysées que dans celui de cigarettes canadiennes ou américaines, et la radioactivité des cigarettes brésiliennes est presque aussi élevée que celle des cigarettes chinoises (11 à 27 mBq/g de tabac contre 18 à 29) et plus élevée que celle des cigarettes européennes. Mais surtout l'analyse sous la norme ISO sous-estime les résidus par rapport à la norme Fumage intense utilisée au Canada. Pour le cadmium, les concentrations sont 3 à 20 fois plus élevées. **Ceci montre bien que les concentrations de produits toxiques inhalés dépendent de la façon de fumer.**

L'amiante

Les filtres à base d'amiante sont interdits depuis longtemps, mais le risque de développer un cancer broncho-pulmonaire en fonction d'une exposition à l'amiante et/ou au tabac (d'après E.C. Hammond, I.J. Selikoff, H. Seidman) est bien réel. Le risque de carcinome bronchique est multiplié par 10,85 en moyenne pour les fumeurs, et par 5,17 en moyenne pour les personnes professionnellement exposées à l'amiante. Le risque est multiplié par 53,24 pour les personnes combinant les deux expositions.

Nanoparticules ou particules ultra-fines

Le dioxyde de titane du filtre et du papier à cigarette se transforme en chlorure de titane dans le filtre, un produit très corrosif. De plus, le CIRC a classé le dioxyde de titane comme cancérogène possible pour l'homme (groupe 2B). Cette nanoparticule engendre des espèces oxygénées réactives, de même que les oxydes d'azote, le benzopyrène ou les quinones, des composés comportant un ou plusieurs noyaux benzène. Les espèces réactives de l'oxygène sont des radicaux libres qui existent à raison de plusieurs milliards de milliards dans la phase particulaire et qui, malgré une durée de vie très courte, sont à l'origine d'un stress oxydatif qui provoque des lésions pulmonaires inflammatoires et possède un effet génotoxique sur l'ADN, démontré chez la souris. Les défenses anti-oxydantes des fumeurs, mobilisées contre ces radicaux libres, sont diminuées par rapport à celles des non-fumeurs. (J. Pincemail et coll., Médiasphère, avr. 1998)

Nicotine et nitrosamines

La nicotine est retrouvée dans la phase particulaire et n'est pas considérée comme toxique, mais cet alcaloïde est le principal agent de la dépendance au tabac. La nicotine présente dans la cigarette varie de 6 à 17 mg avant combustion, celle autorisée dans la fumée par l'Union européenne ne doit pas dépasser 1 mg, et la quantité réelle inhalée par cigarette est de l'ordre de 0,10 à 2,76 mg selon le tabac et la façon de fumer.

Les nitrosamines se forment à partir d'un produit aminé de deux façons: par chauffage à haute température ou lors de la conservation par les nitrites. On connaît les dangers des nitrosamines alimentaires qui peuvent être à l'origine de cancers gastriques.

Il existe deux types de nitrosamines : les volatiles et les spécifiques du tabac (TSNA), mais toutes sont cancérogènes. Les plus dangereuses des TSNA sont NNN et NNK, cancérogènes forts chez l'animal (groupe 1 du CIRC).

Elles sont produites par la rencontre de la nornicotine, un métabolite de la nicotine, ou d'autres alcaloïdes du tabac qui sont des amines, avec des nitrates qui peuvent provenir des engrais. Cette rencontre se produit soit pendant la conservation et le séchage à l'air des feuilles, des bactéries transformant les nitrates en nitrites puis en oxydes d'azote qui se fixent sur les radicaux aminés des alcaloïdes, soit lors du séchage à la chaleur par action des gaz de combustion sur ces mêmes radicaux aminés. Selon M. Laugesen (Health New Zealand Ltd, 2008), la quantité totale de nitrosamines varie selon les marques de 1 300 à 11 000 nanog/g de tabac.

Acétaldéhyde (éthanal)	☠	🔥		
Acétamide	☠			
Acétone		🔥		
Acroleïne	☠	🔥	❤	
Acrylonitrile	☠	🔥		
Amoniac		🔥		
Anabasine				
Arsenic	☠			☠
Benz[a]anthracène	☠	🔥		
Benzène	☠		❤	☠
Benzo[k]fluorène	☠			
1,3-butadiène	☠	🔥		☠
Cadmium	☠	🔥		☠
Monoxyde de carbone				
Dioxine et furane chlorés				☠
Chromium	☠	🔥		
Cobalt	☠		❤	
Ethylbenzène	☠			
Oxyde d'éthylène	☠	🔥		☠
Formaldéhyde	☠	🔥		
Hydrazine	☠			
cyanure d'hydrogène			❤	☠
Plomb	☠		❤	☠
Mercure	☠			☠
Naphtalène	☠	🔥		
Nickel	☠	🔥		
Nicotine				
Nitrobenzène	☠			☠
Nornicotine				
Phénol	☠	🔥	❤	
Polonium 210	☠			
Propionaldéhyde		🔥	❤	
Oxyde de propylène		🔥		
Quinoline	☠			
Sélénium		🔥		
Toluène	☠	🔥		
Uranium-235	☠	🔥		☠
Uranium -238	☠	🔥		
Acétate de vinyle	☠	🔥		

Source : Sciences et Avenir-Mai 2012

Que fait l'industrie du tabac pour remédier à tous ces dangers ?

Sa politique de réduction des risques

Depuis 50 ans, les fabricants ont fait de nombreuses recherches pour diminuer la teneur en goudrons (cancérogènes) et en nicotine (addictive) de leurs cigarettes, et chaque fabricant met en avant sa lutte pour rendre la cigarette moins toxique, par exemple récemment en vendant des tabacs sans fumée ou des cigarettes électroniques (!), mais aussi en diminuant les taux de certaines substances de la fumée comme le CO, les nitrosamines, le formaldéhyde et les métaux traces. Les industriels peuvent agir à plusieurs niveaux : sélection de plants, réduction ou modification des additifs, amélioration des filtres, modification de la combustion.

- Pour le CO, des papiers et filtres de grande porosité permettent à une partie du gaz de diffuser hors du courant principal.
- Pour les nitrosamines : il est possible de réduire la part des engrais nitrates, diminuer les temps de séchage à l'air ou sécher les feuilles par chauffage indirect, sélectionner des plants dont la nicotine se transforme moins en nornicotine.
- Pour le formaldéhyde, on peut sélectionner des sucres qui en produisent moins lors de la combustion.
- Pour les métaux traces, il faut analyser les sites de culture et en choisir les moins dangereux.
- **Diminuer les taux de goudrons a-t-il un intérêt ?** Certainement, mais il faut moduler les résultats. Le Pr R. Molimard écrit à ce sujet : « Les nitrosamines ne constituent que la dix millième partie du poids de goudrons. Et le rendement en goudrons n'est absolument pas représentatif de la carcinogénicité. Ainsi, dans une étude sur des cigarettes polonaises, ce sont les cigarettes à plus faible rendement en goudrons qui contenaient le plus de nitrosamines, jusqu'à 8 fois plus pour le NNK et 4 fois pour la NNN ». Des chercheurs espagnols (A. Marcilla et coll., Food and Chemical Toxicology, mai 2012) ont analysé la fumée de 10 marques de cigarettes vendues en Espagne, 7 américaines et 3 espagnoles, et ont constaté que celles dont la teneur en goudrons mentionnée sur le paquet était la plus faible étaient celles qui dégageaient le plus d'isoprène, de toluène et de crotonaldéhyde.

Pour plus de détails, on peut consulter :

- Tabac : comprendre la dépendance pour agir. Chapitre 2 : Composition chimique du tabac. Expertise collective de l'Inserm, 4e trimestre 2004. ipubli.inserm.fr
- OMS, quatrième rapport d'un groupe d'études sur les bases scientifiques de la réglementation des produits du tabac, 2012.
- Rapport du Surgeon General. Chemistry and Toxicology of cigarette smoke and biomarkers exposition, 2010.

Prochain numéro

La prochaine Chronique sera consacrée aux pathologies des fumeurs.

La Chronique du Dr Mesny

Ce bulletin de santé est édité par l'association Les Droits des Non Fumeurs. Il est rédigé par le docteur Jeanne Mesny, membre du conseil d'administration de l'association.

N° ISSN : 2256-621X

Novembre 2014

Association DNF
13 rue d'Uzès
75 002 PARIS
Tel/Fax : 01 42 77 06 56
www.dnf.asso.fr

