

ENVIRONNEMENT ET CANCER :

PAS FACILE DE DISSÉQUER L'EXPOSOME !

SCHÉEN AJ (1)

RÉSUMÉ : L'environnement contient de nombreuses substances potentiellement toxiques dont certaines ont démontré un effet cancérogène. Elles peuvent atteindre l'organisme humain principalement par voie aérienne ou par voie digestive. Même s'il n'est pas toujours aisé de démontrer une relation de cause à effet dans des études observationnelles sujettes à de nombreux facteurs confondants, certains éléments de l'environnement ont clairement été associés à un risque accru de cancers. Cet article décrit les effets de la pollution atmosphérique, de la pollution de l'air intérieur, des pesticides, de certains perturbateurs endocriniens et des rayonnements ionisants. L'identification des facteurs environnementaux cancérogènes permet d'implémenter des stratégies d'éradication et, par là, de prévention efficace.

MOTS-CLÉS : *Cancer - Environnement - Pesticides - Pollution - Rayons ionisants*

ENVIRONMENT AND CANCER : NOT EASY TO DISSECT THE EXPOSOME !

SUMMARY : Environment contains numerous potentially toxic substances among which certain have demonstrated to be carcinogenic. They can reach the human organism mainly through the respiratory or digestive routes. Even if it is not always easy to demonstrate a causal relationship in observational studies whose interpretation is limited by numerous confounding factors, some compounds from the environment are clearly associated with a higher risk of cancers. The present article describes the effects of both outdoor and indoor air pollution, pesticides, some endocrine disruptors and radiations. The identification of environmental factors associated with a higher risk of cancer allows implement eradication strategies and thereby efficacious prevention.

KEYWORDS : *Cancer - Environment - Pesticides - Pollution - Radiation*

INTRODUCTION

Le cancer peut être considéré comme une maladie complexe dans laquelle interviennent des facteurs de prédisposition génétique et des facteurs environnementaux (1, 2). L'épigénétique, interface entre environnement et gènes, joue également un rôle dans la survenue des maladies complexes dont le cancer (3). La relation génétique-cancer est de mieux en mieux comprise et est discutée dans un autre article de ce numéro (4). Le présent travail sera consacré aux facteurs environnementaux incriminés dans la survenue de cancers. Les possibilités de contamination sont multiples, que ce soit par voie aérienne ou par voie digestive, plus rarement par voie cutanée (5). Au vu de l'importance considérable de cette thématique dans le domaine de la santé publique, les liens entre l'environnement et l'apparition de certains cancers font l'objet de nombreuses recherches. Certains facteurs environnementaux sont prouvés, d'autres sont suspectés et toujours en cours d'investigation. Nous n'en ferons pas état dans cet article qui sera consacré aux principaux facteurs pour lesquels une relation de causalité a été démontrée, le plus souvent dans des études observationnelles de cohortes (Figure 1). L'identification de ces facteurs est importante car elle

peut déboucher sur des stratégies de prévention efficaces (6).

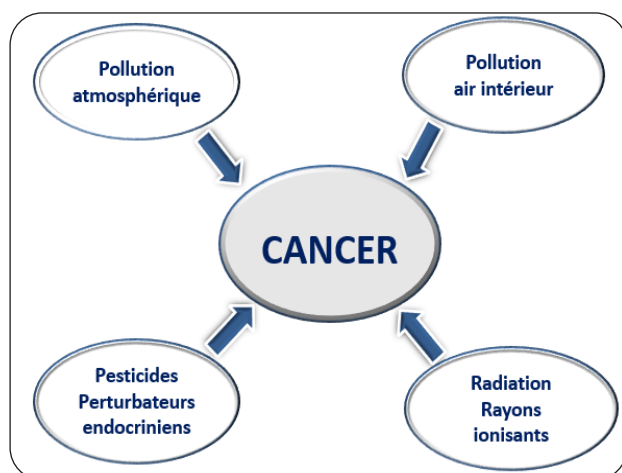
QU'ENTEND-ON PAR ENVIRONNEMENT ?

L'exposome est un concept relativement nouveau, correspondant à la totalité des expositions à des facteurs environnementaux (c'est-à-dire non génétiques) que subit un organisme humain et ce, de sa conception à sa fin de vie, en ce compris le développement *in utero*, et qui se superposent aux effets du génome (7). La notion d'environnement est complexe. Elle peut être définie de multiples façons. Dans la définition la plus large, l'environnement recouvre tout ce qui n'est pas d'ordre génétique, incluant ainsi également les facteurs sociaux et les comportements individuels. Si l'on se fie à cette définition, ce domaine est donc très vaste. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) retient cette définition extensive, comprenant donc également les comportements individuels.

D'autres définitions plus restrictives de l'environnement ont été proposées. Ainsi, en France, l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) définit l'environnement comme l'ensemble des expositions à des agents physiques, biologiques et/ou chimiques présents dans les lieux de vie et de travail. Dans le cadre de cette définition, il est donc estimé que les expositions volontaires, par exemple aux rayons ultraviolets

(1) Service de Diabétologie, Nutrition et Maladies métaboliques, CHU Liège, Belgique.

Figure 1. Facteurs environnementaux impliqués dans la survenue de cancers.



(solarium) et les comportements individuels, comme le tabagisme actif, la consommation abusive d'alcool ou une alimentation déséquilibrée (riche en graisses saturées et pauvre en fibres, par exemple), n'en font pas partie.

Dans un souci de concision, le présent article se calquera sur cette définition plus circonscrite, en renvoyant le lecteur intéressé vers d'autres publications, très nombreuses, consacrées aux relations tabac-cancer, alcool-cancer et alimentation-cancer. Certaines de ces thématiques sont d'ailleurs abordées dans plusieurs articles de ce numéro consacré à l'Oncologie. Il est vraisemblable que, d'une façon générale, les comportements individuels aient plus d'impact négatif quant au risque de cancer que les facteurs environnementaux communs. En tout cas, ce qui est certain, c'est que leur responsabilité est plus aisément mise en cause, car ces facteurs individuels sont facilement identifiables chez un sujet donné (en particulier pour le tabac et l'alcool), alors que c'est beaucoup plus difficile pour les facteurs environnementaux généraux dont il sera question dans cet article.

DIFFICULTÉS INHÉRENTES AUX ÉTUDES OBSERVATIONNELLES

Pour étudier les effets de l'environnement, on ne dispose généralement pas d'essais contrôlés randomisés, le «gold standard» de la médecine factuelle. Les seules informations proviennent d'études observationnelles de population dont on sait qu'elles sont potentiellement grevées de nombreux facteurs confondants. Lorsque l'environnement est contaminé à un endroit relative-

ment circonscrit de façon aiguë, par exemple après certaines catastrophes comme à Seveso, Tchernobyl ou Fukushima, la relation avec la survenue ultérieure de cancers peut être assez aisément mise en évidence. Cependant, dans la plupart des cas, la contamination environnementale, notamment celle liée à la pollution, est plus sournoise et diversifiée, ce qui rend *de facto* beaucoup plus délicates les études visant à établir des relations de cause à effet (8).

Pour savoir si une substance présente dans l'environnement peut favoriser le développement d'un cancer, il faut pouvoir l'isoler des autres facteurs de risque (connus ou méconnus), afin de mesurer l'impact de son éventuelle toxicité. Il s'agit là d'une tâche très difficile à accomplir dans le cadre des études environnementales puisque les personnes sont généralement exposées à plusieurs facteurs, de façon simultanée ou successive, souvent à doses faibles mais sur une base chronique. Dans ces conditions, il est difficile d'identifier le facteur qui exerce le rôle prédominant. De plus, il est probable que différents facteurs puissent jouer un rôle cumulatif, ce qui majore alors le risque global. Notons que les liens entre les changements climatiques et la survenue éventuelle de cancers font l'objet d'une attention récente toute particulière, même si cette tâche s'avérera certainement ardue (9).

Une autre difficulté importante réside dans le fait qu'il peut s'écouler plusieurs années, voire dizaines d'années, entre l'exposition à un facteur et l'apparition d'un cancer pouvant y être lié. Il est évident que cet important délai complique la mise en évidence d'une relation de causalité formelle. Parfois, d'ailleurs, le risque peut se répercuter sur la génération suivante comme illustré par la toxicité du diéthylstilbestrol. Cet œstrogène de synthèse a été largement utilisé de 1948 à 1977 pour la prévention des fausses couches et accouchements prématurés jusqu'à ce qu'une association positive entre cet agent et l'apparition d'un cancer du vagin et du col utérin chez les jeunes filles qui y avaient été exposées *in utero* ait pu être démontrée (10). Cet exemple, certes sans doute exceptionnel, montre toute la complexité des relations entre une exposition à un agent extérieur et la survenue ultérieure d'un cancer.

Au vu de ces difficultés, il n'est donc pas étonnant que les résultats de certaines études soient parfois discutables, voire contradictoires (11). La complexité de ce sujet et les incertitudes scientifiques actuelles rendent difficile l'affirmation de chiffres relativement précis, au risque de surestimer ou de sous-évaluer l'impact de l'environnement dans les causes de cancers. De plus, le risque varie également selon le type de cancer

considéré. Dès lors, un facteur cancérigène établi sur la base d'une seule étude ne peut pas être tenu automatiquement pour avéré. Ce n'est qu'après avoir réuni des résultats convergents de plusieurs études sur un même sujet (polluant suspecté et type de cancer) que l'on peut affirmer qu'un facteur environnemental est cancérigène ou non. Cette classification est l'une des missions du «Centre International de Recherche sur le Cancer» (CIRC), une agence spécialisée de l'OMS pour la recherche sur le cancer, créée en 1965 (<https://www.cancer-environnement.fr/478-Classification-des-substances-cancerogenes.ce.aspx>).

Identifier un facteur de risque cancérigène dans l'environnement est important car cela peut permettre d'implémenter des stratégies de prévention au niveau populationnel, en éradiquant si possible, ou à tout le moins en limitant, le facteur incriminé. Cette stratégie sera illustrée par quelques exemples dans la suite de cet article.

POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE

L'air que nous respirons est pollué par toutes sortes de composants, d'origine naturelle ou issus des activités humaines (12). Les dernières données scientifiques disponibles confirment que l'exposition prolongée à des niveaux élevés de pollution atmosphérique constitue un facteur de risque non négligeable pour la santé en général, dont les maladies respiratoires et cardiovasculaires. C'est le cas, en particulier, pour le cancer du poumon, certes derrière le tabac qui reste le facteur de risque de loin le plus important. Afin de contrer les effets de la pollution atmosphérique, la solution consiste à réduire au maximum les émissions de polluants, stratégie faisant partie intégrante du plan «énergie-climat» initié par les différents pays de la Communauté Européenne.

Particules fines, voire ultrafines, composés organiques volatiles, résidus d'hydrocarbures,... quantité de polluants de diverses natures circulent dans l'atmosphère (13). Certains de ces composants sont issus de phénomènes naturels, comme les éruptions volcaniques et l'émission de pollens. D'autres proviennent d'activités humaines, liées principalement au trafic automobile, au chauffage par combustion de bois, à la production d'électricité, aux activités industrielles et agricoles. La composition et la quantité de ces polluants dans l'air extérieur varient dans l'espace et dans le temps. Elles dépendent également des conditions météorologiques.

Les experts du CIRC ont passé au crible les études scientifiques disponibles évaluant le lien

entre pollution atmosphérique et risque de cancers. Ils ont conclu, en octobre 2013, que la pollution atmosphérique est cancérigène pour l'Homme. Plus précisément, l'exposition chronique à la pollution atmosphérique, déjà connue pour augmenter les risques de plusieurs maladies respiratoires et cardiaques, peut provoquer des cancers du poumon (14). Par ailleurs, plusieurs études évoquent aussi la possibilité d'un lien entre le fait de vivre près d'une route à fort trafic et la survenue de leucémies chez l'enfant. En milieu urbain, le trafic routier émet environ 50 % des particules fines détectées dans l'air, diffusées avant tout par les moteurs diesel suite à une combustion incomplète du gazole. Les particules émises par les pots d'échappement des moteurs diesel ont démontré leur pouvoir cancérigène. Ce constat est à l'origine des nouvelles réglementations visant à interdire l'utilisation de véhicules à moteur diesel dans les grandes villes.

Les principales mesures de prévention sont collectives : elles consistent à limiter les émissions de polluants dans l'atmosphère, à commencer par les particules les plus fines, qui sont aussi les plus toxiques car elles pénètrent profondément dans les poumons. Citons, comme exemple, en France, le Plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques (PREPA) qui a été instauré en 2017 par la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte. À titre individuel, lors d'épisodes de pollution atmosphérique, il est recommandé aux personnes de réduire leurs activités physiques à l'extérieur pour éviter d'inhaler trop de polluants potentiellement toxiques.

POLLUTION DE L'AIR INTÉRIEUR

La pollution de l'air intérieur concerne tout le monde. Dans la vie moderne, nous passons, en moyenne, 80 % de notre temps dans des espaces clos ou mi-clos (à la maison, au travail, à l'école, dans les magasins ou les transports). L'air que nous y respirons peut avoir des effets non seulement sur notre confort, mais aussi sur notre santé (15). Les sources de pollution de l'air intérieur sont multiples : l'air extérieur, certains matériaux de construction, les appareils à combustion, les équipements et l'ameublement, les produits d'entretien et de bricolage, l'activité humaine (utilisation d'aérosols et vaporisateurs divers), le mode de vie des occupants (tabagisme passif),... Certains de ces polluants peuvent contribuer à l'apparition d'un cancer (16), dont le cancer du poumon (17). Nous cite-

rons quelques exemples, parmi les plus importants.

A) LA FUMÉE DE TABAC SECONDAIRE

La fumée de tabac secondaire, celle qui est générée directement par la combustion de la cigarette, constitue la source la plus dangereuse de pollution de l'air intérieur en raison de sa concentration élevée en produits toxiques («nitrosamines spécifiques du tabac»). Le tabagisme passif est reconnu comme cancérigène pour l'Homme depuis 2002 par le CIRC. L'interdiction de fumer dans les espaces publics et de travail a permis de réduire sensiblement ce risque. Néanmoins, l'environnement domestique reste une source d'exposition à la fumée secondaire du tabac.

B) LES PARTICULES FINES

Les particules fines en suspension dans l'air, dont il a été question dans le chapitre concernant la pollution atmosphérique, sont également présentes à l'intérieur des bâtiments. Leur présence résulte du transfert depuis la pollution extérieure (trafic automobile, garage sous la maison...), mais ces particules peuvent être également émises par la combustion domestique (chauffage,...), la cuisson des aliments ou encore certaines activités de ménage. Il a été démontré que ces particules fines peuvent contribuer à une aggravation de l'asthme et des bronchites chroniques, mais aussi à la survenue de cancer du poumon. Le benzène produit par les combustions domestiques, comme celui résultant d'une contamination extérieure (trafic automobile, par exemple, comme déjà discuté) est reconnu comme cancérigène chez l'Homme.

C) LES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

L'amiante est un minéral naturel fibreux intégré dans la composition de nombreux matériaux de construction. Il est reconnu comme cancérigène depuis de nombreuses années et son utilisation est interdite depuis la fin du vingtième siècle. Il reste pourtant présent dans de nombreux bâtiments et équipements. Les fibres d'amiante sont invisibles dans les poussières de l'atmosphère. Inhalées, elles peuvent se déposer au fond des poumons et provoquer des maladies respiratoires graves dont des cancers du poumon et de la plèvre (mésothéliome), ou encore des fibroses (asbestose). Mais l'amiante a également été impliquée dans de nombreux autres cancers (rein, prostate, digestifs,...). Elle représente toujours un problème de santé publique, dont l'acuité est cependant variable

selon les pays (18). Les effets sur la santé d'une exposition à l'amiante surviennent souvent plusieurs années après le début de l'exposition de telle sorte que la relation de cause à effet n'est pas toujours aisée à démontrer. Néanmoins, sa mise en évidence peut donner lieu à des indemnités en cas de survenue de cancer en lien avec cette exposition.

Le formaldéhyde est présent non seulement dans la fumée du tabac, mais aussi dans de très nombreux produits d'usage courant faisant partie de divers matériaux de construction : bois agglomérés et contreplaqués, mousses isolantes, laques, colles, vernis, encres, résines, ... Cet irritant des voies respiratoires supérieures est également reconnu par le CIRC comme cancérigène chez l'Homme. Il a été impliqué dans la survenue de leucémies et, notamment, de leucémies myéloïdes.

D) LE RADON

Le radon est un gaz inodore et incolore qui se trouve naturellement dans les sous-sols rocheux, provenant de la désintégration radioactive naturelle de l'uranium contenu dans les roches granitiques et volcaniques. Dans les espaces ouverts, ce gaz s'échappe dans l'atmosphère, se disperse rapidement et est donc inoffensif. Mais dans les espaces clos, où l'air est confiné (caves, pièces d'habitation non aérées), sa concentration peut être multipliée par cinquante. Lorsqu'il s'accumule dans les bâtiments, il peut pénétrer dans les voies respiratoires et avoir des effets néfastes sur la santé.

Plusieurs études prouvent qu'une exposition régulière au radon augmente le risque de développer un cancer du poumon (19). Plus l'exposition est intense et longue (souvent pendant de nombreuses années), plus le risque est élevé. Le radon est reconnu comme agent cancérigène pulmonaire par le CIRC depuis 1987. En France, il constituerait le 2^{ème} facteur de risque de cancer du poumon, loin, toutefois, derrière le tabac. Il est à noter que les effets nocifs du radon se cumulent à ceux du tabac. Les fumeurs auraient ainsi plus de risque que les non-fumeurs de développer un cancer du poumon à la suite d'une exposition au radon et, chez les non-fumeurs, les hommes davantage que les femmes (19).

Selon une étude du CIRC réalisée en 2018, près de 10 % des cancers du poumon pourraient être attribués à l'exposition au radon dans l'air intérieur. En 2015, ils représentaient 1,2 % de l'ensemble des nouveaux cas de cancer, toutes localisations confondues. Cependant, l'implica-

tion du radon dans la survenue d'autres cancers n'est, à ce jour, pas démontrée.

PESTICIDES

La terminologie «pesticides» désigne principalement les substances ou les préparations utilisées pour la prévention, le contrôle ou l'élimination d'organismes (plantes, animaux, champignons ou bactéries) jugés indésirables. Ce terme générique désigne les produits à usage agricole (produits phytopharmaceutiques : insecticides, fongicides, herbicides), les biocides et les antiparasitaires à usage vétérinaire ou humain.

Les pesticides ont été largement utilisés à partir de la seconde moitié du vingtième siècle, en particulier par l'agriculture intensive. L'usage des pesticides a entraîné la présence de résidus dans l'environnement, notamment dans l'eau des rivières et des nappes phréatiques, dans l'air et dans les eaux de pluie. Les pesticides se retrouvent également dans les aliments tels que les fruits, les légumes, les céréales et les produits d'origine animale (œufs, lait, viande, poisson,...), sous forme de résidus. Le terme «résidus» désigne les produits de dégradation des pesticides présents dans les différents milieux. Certains sont issus de molécules aujourd'hui interdites, quelquefois depuis de nombreuses années mais qui, du fait de leur persistance dans l'environnement (eau, sol), peuvent encore conduire à une exposition des populations.

L'exposition aux pesticides peut, bien évidemment, se produire dans un cadre professionnel, lors de la fabrication ou de l'utilisation de ces produits. Les activités agricoles représentent les principales sources d'exposition. Cependant, l'exposition aux pesticides peut également concerner l'ensemble de la population lors des usages domestiques, le contact avec des milieux contaminés (sol, air extérieur et intérieur, poussières, surfaces, etc.) ou la consommation d'eau ou de denrées alimentaires contenant des résidus, avec parfois la rémanence de contaminations passées. Cette exposition peut se faire par voies respiratoire ou cutanée, ou par ingestion. Une étude liégeoise chez les enfants a montré que la contamination via la voie aérienne joue un rôle mineur (20).

Les conséquences de cette exposition sont souvent difficiles à apprécier car les effets des faibles doses, des mélanges ou des expositions de longue durée sont mal connus. Toutefois, des études indiquent la possibilité d'un lien entre

l'utilisation prolongée de pesticides et un surrisque de cancer chez les adultes et les enfants (21). L'exposition aux pesticides pendant la grossesse pourrait être à l'origine de leucémies et de tumeurs cérébrales chez l'enfant (22). Si les enfants peuvent être exposés avant même leur naissance, les nourrissons peuvent être en contact avec des résidus de pesticides qui se retrouvent dans le lait maternel. En revanche, il n'a pas été démontré, pour le moment, que les traces de pesticides retrouvées dans notre alimentation pouvaient entraîner des maladies, des cancers en particulier. Néanmoins, pour limiter davantage l'ingestion de résidus de pesticides sur les végétaux, il est conseillé de laver les fruits et légumes et de peler ceux qui s'y prêtent.

Le CIRC a évalué et classé une soixantaine de pesticides dont on estime qu'ils sont cancérigènes pour l'Homme (<https://www.cancer-environnement.fr/478-Classification-des-substances-cancerogenes.ce.aspx>). Seuls les insecticides arsenicaux sont considérés comme certainement cancérigènes. Trois autres familles de pesticides entrent dans la catégorie des cancérigènes probables et 19 autres dans celle des cancérigènes possibles. Le CIRC a classé cinq pesticides comme probablement cancérigènes : le malathion (utilisé aux Antilles pour la prévention du chikungunya), le glyphosate (principe actif du «Round Up» de Monsanto), le parathion, le diazinon et le tétrachlorvinphos (produits utilisés comme insecticides).

Comme la question des effets des pesticides sur la santé suscite des inquiétudes, plusieurs actions sont menées en vue de réduire l'exposition de la population aux pesticides. Ainsi, les pouvoirs publics ont pris de nombreuses mesures pour réduire la présence des pesticides, via des interdictions de vente, des interdictions de publicité ou des taxations ciblées. Par ailleurs, des règlements européens fixent les limites maximales applicables aux résidus de pesticides dans les produits d'origine animale ou végétale destinés à la consommation humaine ou animale.

PERTURBATEURS ENDOCRINIENS

Les perturbateurs endocriniens sont des substances étrangères à l'organisme, d'origine naturelle ou artificielle, qui modifient le fonctionnement de notre système hormonal. Ils provoquent des effets potentiellement néfastes pour la santé d'un individu ou de ses descendants (23). Des molécules soupçonnées d'avoir un

potentiel effet de perturbateur endocrinien sont présentes dans notre environnement quotidien, domestique (air, eau, aliments et leurs emballages, cosmétiques, certains médicaments,...) ou professionnel (pesticides de l'agriculture, industrie chimique ou pharmaceutique, produits d'entretien,...). Dès lors, ils se retrouvent fréquemment dans les urines, comme montré dans une étude du service de Toxicologie du CHU Liège (24).

Des perturbateurs endocriniens sont aujourd'hui reconnus comme étant responsables de cancers, dont certains sont dits «hormono-dépendants», comme les cancers de la thyroïde, de la prostate, du sein, de l'ovaire et du testicule (25). Certains sont suspectés de favoriser le développement de cancers en dehors de localisations non directement liées au système endocrinien : citons, les polychlorobiphényles (PCB) impliqués dans la survenue de cancers du sein, de lymphome malin non hodgkinien et de mélanomes, les hydrocarbures aromatiques polycycliques impliqués dans les cancers du poumon, de la vessie et de la peau, les phtalates suspectés d'induire des cancers du foie et du testicule, certains pesticides organochlorés dont plusieurs ont été retirés du commerce en raison de leur potentiel cancérigène.

Il existe de nombreux gestes simples permettant de réduire l'exposition et l'imprégnation de l'organisme aux perturbateurs endocriniens, selon les différentes voies d'exposition (voie alimentaire, voie aérienne), gestes qui devraient permettre de diminuer l'impact négatif de ces produits sur la santé (23).

RAYONNEMENTS IONISANTS

Les rayonnements ont été impliqués dans la genèse des cancers. Les plus connus sont les rayons ultraviolets responsables de cancers de la peau, dont le mélanome. Depuis les années 1950, en Europe, le nombre de cancers de la peau répertoriés dans les registres double tous les dix à quinze ans. La raison réside dans la mode du bronzage intensif sans protection adéquate et le recours aux bancs solaires de façon intempestive. Toutes les personnes ne sont cependant pas exposées au même risque et des caractéristiques génétiques et phénotypiques peuvent moduler le risque individuel (26).

Les examens d'imagerie médicale (scanners, notamment), les traitements par radiothérapie et, dans une moindre mesure, la médecine nucléaire délivrent des rayonnements ioni-

sants. Ces sources artificielles de radioactivité s'ajoutent à la radioactivité naturelle. La multiplication des examens radiologiques pour une même personne, associée à des doses non optimisées par rapport à son âge ou sa corpulence, peut conduire à un niveau d'expositions cumulées à partir desquelles certaines études épidémiologiques montrent la survenue possible de cancers «radio-induits». Au vu de l'utilisation croissante des examens radiologiques, à titre diagnostique ou interventionnel, des mesures doivent être prises pour limiter les risques d'une exposition exagérée à des irradiations susceptibles de favoriser la survenue de cancers à terme (27). Par ailleurs, les membres du personnel médical et paramédical exposés de façon chronique à des rayons ionisants doivent être particulièrement surveillés, tout en les incitant à prendre les précautions élémentaires de protection (28).

Ce risque est plus important pour les organes les plus radiosensibles comme le sein et la thyroïde, d'autant plus si les individus sont jeunes. Les enfants sont plus sensibles à l'action des rayonnements ionisants. Une vigilance accrue s'impose pour les femmes enceintes car les rayonnements ionisants atteignent le fœtus, chez qui le risque de cancer, notamment de leucémie, à long terme augmente avec la dose. La radioprotection est fondée sur le principe de précaution.

Enfin, les rayonnements non ionisants, quant à eux, transportent trop peu d'énergie pour endommager l'ADN et donc provoquer des cancers. Ils sont émis, par exemple, par les GSM, les appareils Wi-Fi, les émetteurs radio et TV, les pylônes à haute tension, ou encore les fours à micro-ondes. *A priori*, ils ne sont donc pas considérés comme cancérigènes.

CONCLUSION

Même si le rôle de l'environnement dans la genèse de cancers ne fait plus de doute, identifier les facteurs qui peuvent jouer un rôle de façon incontestable demeure un défi, tant ils peuvent être nombreux et sans doute, pour beaucoup, relativement occultes. Pourtant, d'un point de vue santé publique, il s'agit là d'un objectif capital. En effet, cette approche permet de mettre en route des stratégies efficaces de prévention à l'échelle d'une population, ce qui se répercutera inévitablement à l'échelle individuelle.

BIBLIOGRAPHIE

1. Scheen AJ, Bours V. Maladies complexes : des interactions gènes-environnement au problème de santé publique. *Rev Med Liege* 2012;**67**:217-9.
2. Lichtenstein P, Holm NV, Verkasalo PK, et al. Environmental and heritable factors in the causation of cancer—analyses of cohorts of twins from Sweden, Denmark, and Finland. *N Engl J Med* 2000;**343**:78-85.
3. Scheen AJ, Junien C. Epigénétique, interface entre environnement et gènes : rôle dans les maladies complexes. *Rev Med Liege* 2012;**67**:250-7.
4. Docampo E, Martin M, Gangolf M, et al. Héritéité et cancer. *Rev Med Liege* 2021;**76**:327-36.
5. Hoover RN. Cancer—nature, nurture, or both. *N Engl J Med* 2000;**343**:135-6.
6. Vineis P, Wild CP. Global cancer patterns: causes and prevention. *Lancet* 2014;**383**:549-57.
7. Barouki R, Audouze K, Coumoul X, et al. Integration of the human exposome with the human genome to advance medicine. *Biochimie* 2018;**152**:155-8.
8. Landrigan PJ, Fuller R, Acosta NJR, et al. The Lancet Commission on pollution and health. *Lancet* 2018;**391**:462-512.
9. Hiatt RA, Beyeler N. Cancer and climate change. *Lancet Oncol* 2020;**21**:e519-e27.
10. Troisi R, Hatch EE, Palmer JR, et al. Prenatal diethylstilbestrol exposure and high-grade squamous cell neoplasia of the lower genital tract. *Am J Obstet Gynecol* 2016;**215**:322 e1-8.
11. Pourvakhshoori N, Khankeh HR, Stueck M, et al. The association between air pollution and cancers: controversial evidence of a systematic review. *Environ Sci Pollut Res Int* 2020;**27**:38491-500.
12. Beelen R, Raaschou-Nielsen O, Stafoggia M, et al. Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project. *Lancet* 2014;**383**:785-95.
13. Scheen AJ, Giet D. Rôle de l'environnement dans les maladies complexes : pollution atmosphérique et contaminants alimentaires. *Rev Med Liege* 2012;**67**:226-33.
14. Ciabattini M, Rizzello E, Lucaroni F, et al. Systematic review and meta-analysis of recent high-quality studies on exposure to particulate matter and risk of lung cancer. *Environ Res* 2021;**196**:110440.
15. Lee KK, Bing R, Kiang J, et al. Adverse health effects associated with household air pollution: a systematic review, meta-analysis, and burden estimation study. *Lancet Global Health* 2020;**8**:e1427-e34.
16. Vardoulakis S, Giagloglou E, Steinle S, et al. Indoor exposure to selected air pollutants in the home environment: a systematic review. *Int J Environ Res Public Health* 2020;**17**:8972.
17. Lipfert FW, Wyzga RE. Longitudinal relationships between lung cancer mortality rates, smoking, and ambient air quality: a comprehensive review and analysis. *Crit Rev Toxicol* 2019;**49**:790-818.
18. Douglas T, Van den Borre L. Asbestos neglect: Why asbestos exposure deserves greater policy attention. *Health Policy* 2019;**123**:516-9.
19. Cheng ES, Egger S, Hughes S, et al. Systematic review and meta-analysis of residential radon and lung cancer in never-smokers. *Eur Respir Rev* 2021;**30**:200230.
20. Pirard C, Remy S, Giusti A, et al. Assessment of children's exposure to currently used pesticides in wallonia, Belgium. *Toxicol Lett* 2020;**329**:1-11.
21. Bassil KL, Vakil C, Sanborn M, et al. Cancer health effects of pesticides: systematic review. *Can Fam Physician* 2007;**53**:1704-11.
22. Iqbal S, Ali S, Ali I. Maternal pesticide exposure and its relation to childhood cancer: an umbrella review of meta-analyses. *Int J Environ Health Res* 2021 Mar 22;1-19. doi: 10.1080/09603123.2021.1900550.
23. Fudvoye J, Franssen D, Naveau E, et al. La perturbation endocrinienne: entre enjeux de recherche, enjeux de santé publique et enjeux de pratique quotidienne. *Rev Med Liege* 2014;**69**(Suppl):25-30.
24. Pirard C, Compere S, Firquet K, et al. The current environmental levels of endocrine disruptors (mercury, cadmium, organochlorine pesticides and PCBs) in a Belgian adult population and their predictors of exposure. *Int J Hyg Environ Health* 2018;**221**:211-22.
25. Wan MLY, Co VA, El-Nezami H. Endocrine disrupting chemicals and breast cancer: a systematic review of epidemiological studies. *Crit Rev Food Sci Nutr* 2021 Apr 5;1-27. doi: 10.1080/10408398.2021.1903382.
26. Ghiasvand R, Robsahm TE, Green AC, et al. Association of phenotypic characteristics and UV radiation exposure with risk of melanoma on different body sites. *JAMA Dermatol* 2019;**155**:39-49.
27. Tsapaki V. Radiation dose optimization in diagnostic and interventional radiology: Current issues and future perspectives. *Phys Med* 2020;**79**:16-21.
28. Chartier H, Fassier P, Leuraud K, et al. Occupational low-dose irradiation and cancer risk among medical radiation workers. *Occup Med (Lond.)* 2020;**70**:476-84.

Les demandes de tirés à part doivent être adressées au Pr. A.J. Scheen, Service de Diabétologie, Nutrition et Maladies métaboliques, CHU Liège, Belgique.
Email : andre.scheen@chuliege.be