

Le principe de précaution et les champs électriques et magnétiques : mise en oeuvre et évaluation

LEEKA I. KHEIFETS¹
TAHERA EMILIE VAN DEVENTER²
GAIL LUNDELL³
JOHN SWANSON⁴

¹ School of Public Health,
University of California,
Department of
Epidemiology, Los Angeles,
CA 90095-1772,
États-Unis
<kheifets@ucla.edu>

² Rayonnements et hygiène
du milieu,
Organisation mondiale
de la santé (OMS),
21, avenue Appia,
1211 Genève
Suisse
<vandeventere@who.int>

³ Electric Power Research
Institute, (EPRI),
3420 Hillview Avenue,
Palo Alto,
California 94304
États-Unis
<Glundell@epri.com>

⁴ National Grid Transco plc,
London WC2N 5EH
Royaume-Uni
<John.Swanson@ngggroup.com>

Tirés à part :
L.I. Kheifets

Résumé. Le principe de précaution, une recommandation visant à étudier les actions qui permettraient d'éviter des dommages possibles, même si leur survenue est incertaine, est défini et interprété de façon très variée. Nous présentons la gamme de ses définitions en mettant l'accent sur leurs exigences en matière de force des preuves de nocivité et d'actions recommandées. Nous décrivons les approches variées qui ont été utilisées pour développer des politiques qui abordent la question de possibles effets des champs électriques et magnétiques (CEM) sur la santé face aux incertitudes scientifiques. Nous examinons ensuite les aspects spécifiques de l'incertitude scientifique concernant les risques des CEM pour la santé, risques qui sont particulièrement importants pour le développement de politiques de précaution et nous introduisons le cadre de précaution développé par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) pour aborder les CEM et les autres expositions, technologies ou agents qui pourraient comporter des risques pour la santé publique. Nous concluons avec des exemples tirés de politiques de compromis de risque sur les CEM qui doivent être pris en considération lorsqu'on développe toute politique de précaution et nous émettons des recommandations pour mieux définir et appliquer des mesures de précaution.

Mots clés : champ électromagnétique ; choix d'une politique ; gestion risques ; hygiène environnement.

Abstract. The precautionary principle and EMF: Implementation and evaluation

The precautionary principle, a recommendation to consider action to avoid a possible harm even if it is not certain to occur, is variously defined and interpreted. We present a range of definitions with an emphasis on their requirements for strength of evidence of harm and for actions to be taken. We describe the variety of approaches that have been adopted in developing policy to address the issue of possible health effects of electric and magnetic fields (EMF) in the face of scientific uncertainty. Further, we discuss specific aspects of scientific uncertainty regarding EMF health risks that are particularly relevant to the development of precautionary policies, and introduce a precautionary framework developed by the World Health Organization (WHO) to address both EMF and other exposures, technologies, or agents that could affect public health. We conclude with examples from EMF policy decisions of risk tradeoffs that need to be considered in developing any precautionary policy, and provide recommendations for better ways to define and implement precautionary measures

Key words: electromagnetic fields; policy making; environmental; health; risk management.

Le principe de précaution est un des nombreux guides utilisables par la société pour décider d'une action afin de protéger ses membres contre un danger possible. C'est une approche essentiellement fondée sur l'idée que « mieux vaut la sécurité que les regrets », c'est-à-dire qu'il est préférable de décider d'une action pour éviter un danger même si sa probabilité de survenue est incertaine.

Le choix des actions possibles s'étend de la non-intervention à l'interdiction d'une substance ou d'une activité potentiellement dangereuse. Plusieurs facteurs peuvent influencer ce choix ; parmi les plus influents, on trouve la gravité du danger potentiel et le degré d'incertitude sur la dangerosité d'une activité ou d'une substance. Ces deux facteurs peuvent justifier une large variété d'actions, comme le montre la figure 1. La gravité du danger et le

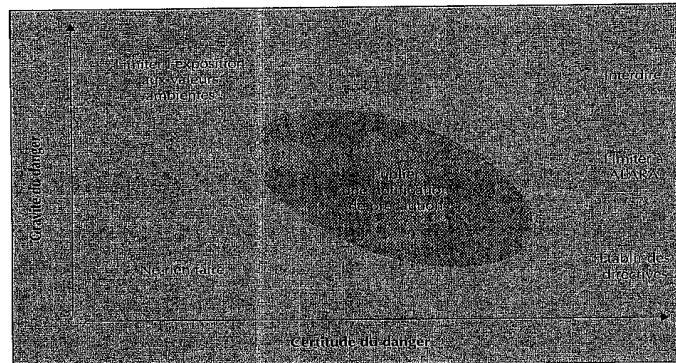


Figure 1. Éventail des actions à entreprendre en réponse à un risque sanitaire. La zone grisée correspond une combinaison de sévérité et de certitude du danger pour laquelle le principe de précaution peut être utile. ALARA : As Low As Reasonably Achievable.

degré d'incertitude sont en fait les seuls facteurs abordés directement par le principe de précaution tel qu'il est habituellement énoncé. La gravité du danger associé à un risque peut varier considérablement. Lorsque le danger est faible, et plus spécialement s'il est temporaire ou réversible, il peut être sensé de ne pas (ou peu) intervenir pour l'éviter. Lorsque le danger est important, irréversible, ou durable, des actions significatives pour le prévenir ou l'éviter sont facilement justifiables. La gravité du danger peut faire référence à un risque important pour quelques individus mais concerne plus souvent un impact global sur la société ou l'environnement.

Tous les risques sont, à un certain degré, incertains, mais le degré de l'incertitude varie. Lorsque l'incertitude concernant un risque est importante, il est habituellement sensé de ne rien faire (sauf peut être pour réduire l'incertitude) ou de prendre des mesures simples, peu coûteuses et sans conséquences négatives. Lorsque le degré de certitude qu'un danger se produise est élevé, il faut interdire la substance ou l'activité en question ou la remplacer par une autre peu susceptible d'être dangereuse. Autre possibilité : l'application de limites sévères lorsque la substance ou l'activité sont indispensables et ne peuvent pas être remplacées.

Il est clair que lorsque le danger associé à un risque est faible et peu probable, il n'y a pas (ou peu) d'actions à mettre en place. Inversement, lorsque le danger est grand et la probabilité forte, une action significative est nécessaire. Mais dans la zone grise où un danger substantiel est supposé mais avec une certitude faible, ou bien que le degré de danger est faible mais avec une certitude élevée, il est difficile d'élaborer une politique et certaines règles sont nécessaires pour guider la décision. Le principe de précaution fournit un cadre qui peut servir de base pour prendre des décisions sur la nécessité d'engager une action et sur le type d'action dans des situations incertaines, en complément d'autres règles de prise de décision et d'évaluation de risque.

Dans cet article, nous présentons les définitions variées du principe de précaution, nous décrivons ses applications dans les politiques de réglementation de l'exposition aux champs électromagnétiques (CEM) et présentons un cadre de précaution dérivé de ces applications.

Bref historique

Le principe de précaution a émergé en tant qu'aide à la décision pour réglementer les activités dangereuses pour l'environnement dans la loi suédoise de protection de l'environnement de 1969 [1]. Dans cette loi figurait le principe que le simple risque de danger, pourvu qu'il ne soit pas trop éloigné, mérite des mesures de protection ou une interdiction de l'activité potentiellement dangereuse.

Le *Vorsorgeprinzip*, le principe de « précaution » ou de « prévision », a suivi dans la loi allemande dans les années 1970 [2]. En affirmant essentiellement qu'une politique environnementale nécessite une approche de précaution, le *Vorsorgeprinzip* a servi de base pour les politiques de réglementation des centrales nucléaires, des pluies acides et de la pollution en mer du Nord.

Depuis les années 1970, de nombreux traités internationaux ou des déclarations ont intégré le principe de précaution sous une forme ou une autre. Parmi les plus anciennes, on trouve la déclaration de 1972 de la Conférence des Nations unies sur l'environnement de l'homme [3], une décision de 1980 [4] du Conseil de l'Europe sur les chlorofluorocarbones (CFC) dans l'environnement et la Charte mondiale pour la nature de 1982 [5] qui a recommandé, concernant les activités susceptibles de représenter un risque significatif pour la nature, que « lorsque des effets indésirables potentiels ne sont pas pleinement compris, les

activités ne soient pas menées ». La déclaration ministérielle de la Conférence internationale sur la protection de la mer du Nord, en 1984, à Brême [6] et la convention de Vienne de 1985 sur la protection de la couche d'ozone [7] ont aussi intégré des déclarations de précaution.

La déclaration ministérielle de 1987 de la deuxième conférence internationale sur la protection de la mer du Nord [8] a introduit le principe de précaution en tant que tel dans la loi environnementale internationale. Cette déclaration a limité l'application du principe de précaution, dans le domaine de l'écologie marine, aux dommages susceptibles d'être causés par des substances « persistantes, toxiques et susceptibles de se bioaccumuler », même en l'absence de preuves scientifiques de dommage (les déclarations ministérielles des troisième et quatrième conférences internationales sur la protection de la mer du Nord ont réaffirmé ce principe en 1990 et 1995) [9, 10]. Des approches de précaution sont apparues dans le protocole de Montréal sur les substances qui détruisent la couche d'ozone en 1987 [11], dans la Recommandation sur la pollution marine du conseil du Programme sur l'environnement des Nations unies en 1989 [12] et dans une résolution de 1991 par des parties à la convention de Londres de 1972 sur la pollution des océans de 1991 [13].

La déclaration de Bergen de 1990 a affirmé que les politiques environnementales devaient être fondées sur le principe de précaution [14]. En conséquence, le principe de précaution a été adopté dans un amendement de 1992 au traité de Maastricht sur l'Union européenne [15]. L'amendement déclare que la politique environnementale dans la Communauté européenne « devrait être fondée sur le principe de précaution et sur les principes que des actions préventives doivent être décidées, que les dommages à l'environnement doivent en priorité être réparés à la source et que le pollueur doit payer ». L'amendement exige cependant que la politique inclue la prise en compte des données scientifiques disponibles, les conditions environnementales, les coûts et les bénéfices et les conditions socio-économiques.

L'apparition du principe de précaution dans les traités signés lors de la conférence des Nations unies sur l'environnement et le développement (Cnuced) à Rio de Janeiro en 1992 est d'une importance particulière : il s'agit de la Convention sur la diversité biologique et de la Convention-cadre des Nations unies sur le changement climatique [16, 17]. La déclaration de Rio sur l'environnement et le développement comporte aussi le principe de précaution, avec l'inclusion du rapport coût-efficacité [18]. Plus récemment, le principe de précaution est apparu dans l'accord de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) de 1997 sur l'application de mesures sanitaires et phytosanitaires [19], le protocole de Carthagène de 2000 sur la biosécurité [20] et la déclaration de Bergen de 2002 lors de la cinquième conférence internationale sur la protection de la mer du Nord, qui étend son application aux organismes génétiquement modifiés (OGM) [21].

La Commission européenne a développé sa communication sur le principe de précaution en 2000, fournissant une avancée décisive en décrivant le but et l'utilisation du principe de précaution dans l'élaboration de la politique européenne [22]. D'autres pays à l'extérieur de l'Union européenne ont intégré le principe

de précaution à leurs processus de prise de décision, certains de façon informelle et d'autres au moyen d'une approche formelle. Les lois environnementales dans un certain nombre de pays tels que l'Australie, le Canada, l'Allemagne, la Nouvelle-Zélande, la Suède, la Suisse et les États-Unis ont inclus le principe de précaution soit de façon explicite soit implicitement en tant qu'approche. L'accord intergouvernemental de 1992 sur l'environnement en Australie [23] et le Cadre pour l'application de la précaution dans la prise de décision fondée sur la science face au risque au Canada en 2003 [24], en sont deux exemples.

Définition du principe de précaution

Une grande variété de définitions et d'interprétations du principe de précaution ont été proposées. Ces définitions incluent trois approches principales :

1. « En cas de menace de dommages sérieux et irréversibles, l'incertitude ne doit pas être une raison pour retarder l'action qui permettrait d'éviter ces dommages. »

Cette définition, apparue dans des documents tels que la déclaration de Bergen de 1990 [14] et le Préambule à la convention de 1992 sur la diversité biologique [16], pourrait sembler une version édulcorée comparée à d'autres, ne fournissant pas de base directe à l'action. Or il s'agit d'une affirmation forte, qui pourrait être ainsi paraphrasée d'une façon plus positive : « Mettre en place des actions, même en l'absence de preuves concluantes de la survenue de dommages. » Cependant, cette affirmation ne fournit pas de règles claires pour déterminer quelles décisions doivent être prises dans des circonstances précises. Elle nécessite clairement une analyse supplémentaire fondée sur d'autres guides d'aide à la décision.

2. « En cas de menace de dommages sérieux et irréversibles, des mesures de précaution doivent être prises même si la relation de cause à effet n'est pas clairement établie. »

Écrite dans la convention de 1992 sur la protection de l'environnement marin dans la zone de la mer Baltique [25] et dans d'autres traités et déclarations, cette affirmation plus forte que la précédente ne dit rien d'autre que « Faites quelque chose ! » devant des menaces de dommages, mais elle ne fournit pas plus que la première de règles claires pour orienter la prise de décisions. En revanche, elle exclut radicalement la non-prise de décision. Dans ce sens, cette version (et d'autres, plus catégoriques encore) semble exiger une décision, quelle qu'elle soit et impliquer que l'incertitude seule justifie l'action.

3. « Lorsqu'une activité ou une substance peut causer des dommages irréparables/irréversibles, même si leur survenue est incertaine, cette activité doit être évitée ou éliminée. »

Cette définition, tirée de l'*Environmental Protection Act* suédois de 1969 [1], n'exige pas seulement une action, mais une action extrême qui élimine totalement la pratique ou la substance qui pourrait causer des dommages. Elle interdit la prise en compte d'autres éléments tels que le bénéfice que peut apporter une activité, le degré de dangerosité ou le degré d'incertitude sur la probabilité de survenue du danger.

La plupart des définitions du principe de précaution le décrivent en termes de situations dans lesquelles l'inaction n'est pas

nécessairement la réponse appropriée. Une autre définition possible, établissant quand une action doit être réalisée, a été récemment proposée par l'Agence européenne de l'environnement [26] pour fournir « un cadre, des procédures et des outils aux décisions politiques dans des situations de complexité scientifique, d'incertitude et d'ignorance, lorsqu'il peut être nécessaire d'agir avant même d'avoir des preuves fortes d'un danger afin d'éviter ou de réduire des menaces potentiellement sérieuses ou irréversibles pour la santé ou l'environnement en utilisant le niveau approprié des données scientifiques et en pesant les « pour » et les « contre » en faveur d'une action ou d'une non action ».

Même si chacune de ces définitions convient au principe de précaution, des divergences importantes dans les exigences quant à la force des preuves et aux actions à mettre en place les rendent substantiellement différentes : le principe de précaution peut être adopté en cas de « preuves suffisantes » de la dangerosité d'une activité ou d'une substance [15] mais aussi en l'absence de preuves scientifiques concluantes [27] ou même lorsque la substance ou l'action est soupçonnée d'être une cause possible [28].

De même, les définitions du principe de précaution impliquent une large gamme d'actions possibles lorsque les exigences en matière de force des preuves sont satisfaites. Ces actions vont de l'évitement ou de l'élimination de l'exposition [1] à l'adoption de mesures d'un bon rapport coûts-bénéfices [18] ou simplement à des propositions d'action.

Lorsque des mesures d'un bon rapport coûts-bénéfices sont prises, il s'agit généralement de l'adoption de l'option la moins coûteuse parmi plusieurs autres d'une efficacité égale du point de vue de la réduction du danger. Cette définition ne fournit pas de règles pour déterminer dans quelles mesures une action doit être efficace pour pouvoir être prise en considération. On peut considérer que l'action la plus efficace possible doit être examinée et que le coût n'intervient que comme une considération secondaire. Si, par exemple, une action très coûteuse peut éliminer la possibilité d'un danger, alors elle doit être préférée à tout autre action moins efficace sans tenir compte d'un éventuel moindre coût. Sinon, d'autres règles peuvent être nécessaires pour choisir parmi des actions qui diffèrent à la fois par leur coût et leur efficacité. On peut citer comme exemple de ces règles des tests de seuil (le danger doit être réduit d'au moins telle proportion, ou être inférieur à des niveaux maximums) ou des tests coûts-bénéfices (la valeur de la réduction différentielle du danger entre deux options doit être au moins égale au coût différentiel).

Une autre différence importante dans les définitions variées du principe de précaution réside dans l'identification de celui sur qui repose la charge de la preuve. Dans certaines définitions, la charge de la preuve est déplacée des opposants à une activité potentiellement dangereuse à ses partisans [29]. Si on considère que l'incertitude sur les dommages qui vont (ou ne vont pas) résulter d'une activité est inhérente aux situations dans lesquelles le principe de précaution peut s'appliquer, aucune preuve concluante d'un danger ou de son absence n'est possible. Cependant, si cette idée n'est pas poussée jusqu'à l'extrême – c'est-à-dire si la règle est celle du poids des preuves plutôt que la preuve absolue –, alors déplacer la charge de la preuve sur les partisans

peut avoir l'effet salubre de les conduire à rechercher et fournir plus d'informations sur la nocivité possible de l'activité.

Finalement, les définitions du principe de précaution reflètent différents degrés d'aversion face au risque. Celles qui exigent la prévention ou l'élimination du danger expriment un plus grand degré d'aversion que celles qui conseillent la mise en place d'actions.

Dans le cas des champs électriques et magnétiques, des exigences différentes quant à la force des preuves (par exemple, suffisante contre concluante) et une large gamme d'interprétations de la force des preuves des effets possibles des CEM sur la santé ont été utilisées, comme nous le verrons plus loin, par des groupes variés d'experts. Ainsi l'empressement de ces groupes à adopter ou rejeter l'approche du principe de précaution dépendra non seulement de leur évaluation de la force des preuves mais aussi de la définition du principe de précaution utilisée. Nous examinerons plus loin les différences dans la définition du principe de précaution appliqué à la question des CEM, mais nous allons tout d'abord faire le point sur l'état des connaissances sur les CEM et sur la variété des approches adoptées pour définir les politiques sur cette question dans des conditions d'incertitude scientifique.

État des connaissances sur les CEM

Résultats de la recherche scientifique

L'utilisation de l'électricité a continuellement augmenté à travers le monde industrialisé depuis l'ouverture de la première usine de production d'électricité il y a plus de 100 ans. Aujourd'hui, les pays en développement considèrent l'électricité comme un des principaux moyens de création d'emplois et d'amélioration de la qualité de la vie. Bien que l'énergie électrique soit une source d'avantages sans nombre pour nos sociétés, la question s'est posée de possibles effets indésirables sur la santé liés aux champs électriques et magnétiques générés par la production, le transport et l'utilisation de l'électricité.

Le problème d'effets indésirables des CEM sur la santé a été soulevé pour la première fois par des études épidémiologiques qui ont examiné à la fois l'exposition professionnelle et résidentielle. La majorité des études se sont focalisées sur le cancer, particulièrement les leucémies et les tumeurs du cerveau, parmi tous les effets sur la santé. Bien que des associations aient été observées dans certaines études, les incertitudes demeurent considérables sur la validité et la signification de ces associations. Des difficultés dans l'évaluation des expositions, la faible ampleur de l'élévation du risque, l'absence générale de relation dose-réponse, la possibilité de biais et de facteurs confondants non contrôlés et les différences entre les études dans les types de cancer et d'exposition considérés comme les plus importants contribuent à l'incertitude.

Les études animales en laboratoire sont pour la plupart négatives. Certaines études sur les cellules et les tissus ont suggéré que l'exposition aux CEM pouvait induire des réponses biologiques mais des laboratoires indépendants ont rencontré des difficultés considérables pour répliquer ces travaux. De plus,

Le lien entre le développement du cancer et les réponses biologiques induites par les CEM n'est pas clair.

Les données disponibles montrent que les CEM ne remplissent pas les critères établis pour les agents carcinogènes connus, c'est-à-dire qu'ils ne se comportent pas comme des mutagènes ou des carcinogènes complets. Néanmoins, lorsque le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC/IARC, *International Agency for Research on Cancer*) a passé en revue les études sur la carcinogénicité des champs électriques et magnétiques statiques et d'extrêmement basse fréquence (ELF), il a conclu, en fonction de sa classification standard qui évalue les données humaines, animales et de laboratoire, que les champs magnétiques ELF sont des carcinogènes possibles pour l'homme [30]. Le CIRC a essentiellement fondé ce classement sur les études épidémiologiques sur la leucémie de l'enfant. Les données sur les autres cancers chez l'adulte et l'enfant ainsi que sur les autres expositions (champs statiques et champs électriques ELF) ont été considérés comme non classables en raison de preuves scientifiques insuffisantes ou incohérentes. Plus récemment, les recherches se sont étendues à d'autres risques que les cancers, tels que les maladies cardio-vasculaires ou neurodégénératives et les problèmes de reproduction. L'association des champs magnétiques avec ces maladies est encore plus faible qu'avec la leucémie de l'enfant ; en outre, une association avec les maladies cardio-vasculaires est peu vraisemblable et une association avec les maladies neurodégénératives est très incertaine. L'OMS, dans le cadre du Projet international CEM [31], mène une évaluation du risque de leucémie de l'enfant et une évaluation des données sur les maladies autres que les cancers, données qui seront publiées en 2006 dans la série des *Environmental Health Criteria* de l'OMS.

Devant l'incertitude, les préoccupations du public concernant les champs électromagnétiques, l'ubiquité des champs électromagnétiques (et donc le potentiel d'un impact important sur la santé publique, même si le risque est faible) et le classement par le CIRC des champs magnétiques ELF comme carcinogènes possibles (2B) ont conduit à la proposition d'adopter le principe de précaution dans plusieurs pays.

Incertitude scientifique

Alors que le principe de précaution s'applique par définition à des situations caractérisées par l'incertitude scientifique, son application à la question des CEM est particulièrement problématique en raison de plusieurs aspects spécifiques à la recherche sur les CEM. La recherche sur les CEM n'implique pas seulement une incertitude de l'association entre l'exposition et une élévation du risque mais aussi d'autres incertitudes supplémentaires.

L'incertitude porte premièrement sur l'ampleur et la spécificité du risque. Le risque de l'exposition aux CEM, s'il existe, peut être faible mais concerner un grand nombre de gens. Ou alors le risque peut être grand mais concerner seulement un petit nombre d'individus sensibles. D'autres possibilités existent comme l'exposition simultanée à un autre facteur - les courants de contact par exemple - ou peut-être un aspect rare et encore non identifié de l'exposition au champ magnétique qui pourrait conduire à un accroissement du risque. Chacune de ces relations possibles entre le risque et l'exposition exigerait bien sûr un

ensemble très différent de précautions pour diminuer le risque, rendant l'application du principe de précaution particulièrement difficile. Par exemple, certaines actions, tout en réduisant certains aspects de l'exposition, pourraient accroître le risque en augmentant un autre aspect, encore inconnu, qui pourrait s'avérer être le coupable. Tout le concept d'action de précaution dans le contexte des champs électriques et magnétiques prend sa source dans l'hypothèse qu'il est bon de réduire l'exposition et que réduire un aspect de l'exposition réduira également tout autre aspect potentiellement nuisible. Et pourtant aucune de ces affirmations n'est acquise et une telle réduction pourrait être inefficace. En fait, certaines études en laboratoire ont suggéré que les effets biologiques dus aux CEM varient dans des fenêtres de fréquence et d'intensité du champ. Même si un scénario si complexe et si inhabituel est peu vraisemblable et irait à l'encontre de certains principes bien établis en toxicologie et épidémiologie, la possibilité qu'il puisse être réel doit être prise en compte pour l'application du principe de précaution aux CEM.

Ensuite, l'absence d'un mécanisme d'action clairement élucidé, robuste et reproductible des CEM sur les systèmes biologiques d'une part, et la pléthore des caractéristiques du champ qui pourraient être pertinentes d'autre part, rendent difficiles l'énoncé de stratégies d'évitement qui ne suffisent pas à éviter complètement l'exposition aux CEM (ce qui serait réalisable uniquement en n'utilisant pas du tout l'électricité). Puisque l'électricité est clairement bénéfique à la santé ainsi qu'à bien d'autres aspects de notre vie, ne pas utiliser l'électricité n'est pas une option viable. Ainsi, à la différence du cas de nombreuses substances toxiques, pour lesquelles des substituts sont disponibles, la situation nous permet seulement de nous efforcer d'identifier et de réduire les risques, s'ils existent, tout en maintenant les avantages de l'utilisation de l'électricité.

Application du principe de précaution aux CEM

Les gouvernements ont apporté des réponses différentes à la question des CEM. Alors que la plupart n'ont pas établi de réglementations pour l'exposition aux CEM, quelques-uns ont développé des recommandations, instauré des limites ou adopté des politiques d'évitement prudent (*prudent avoidance*).

Recommandations et limites sur les CEM

Les recommandations d'exposition dans la plupart des pays sont fondées sur les effets aigus, bien établis, des champs relativement élevés : la limite d'exposition internationale actuellement recommandée est de 100 μ T pour les champs de 50 Hz (83 μ T pour le 60 Hz) [32]. Les données épidémiologiques sur les effets à long terme sont habituellement jugées insuffisantes pour établir une recommandation. Les expositions réelles du public aux champs magnétiques sont d'habitude considérablement plus faibles que les limites indiquées dans les recommandations et les préoccupations du public sont souvent centrées sur la possibilité d'effets à long terme d'expositions faibles. La reconnaissance des champs magnétiques comme carcinogènes possibles a déclen-

ché une remise en cause de la pertinence des recommandations comme seule réponse réglementaire à l'exposition aux CEM. Les préoccupations du public ont augmenté et, dans certains cas, la pression de l'opinion a contribué à l'abaissement des limites d'exposition ou à d'autres mesures. Là où elles ont été adoptées, ces limites sont d'ordinaire bien inférieures aux limites des recommandations fondées sur les effets aigus.

Le classement du CIRC fournit un motif pour prendre en considération des approches de précaution en introduisant des niveaux d'exposition plus bas. Les tentatives pour introduire la précaution dans les politiques de gestion des CEM sont fondées sur l'application, soit du principe de précaution, soit de l'évitement prudent. L'évitement prudent, une version du principe de précaution (même si elle n'est pas reconnue spécifiquement comme telle) développée pour les CEM d'extrêmement basses fréquences, est définie comme la prise de mesures pour éloigner le public des champs en déplaçant les installations et en concevant différemment les systèmes et les appareils électriques à des coûts qui restent faibles ou modérés [33].

Une grande variété de politiques ont été mises en place par les différents pays en fonction de considérations culturelles, sociales et légales, telles que l'importance accordée à la possibilité d'éviter une maladie qui affecte majoritairement des enfants, l'acceptation des risques imposés (par opposition à volontaires) et l'importance donnée aux incertitudes dans le processus de prise de décision. Plusieurs exemples en sont présentés ci-après.

Limites d'exposition fondées sur les effets aigus

Les pays ont habituellement établi leurs propres valeurs limites réglementaires ou recommandations d'exposition sur la base d'une évaluation de la littérature. La plupart des recommandations nationales sur les CEM, cependant, sont fondées sur celles de la Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (ICNIRP, *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*) ou de son prédécesseur, l'Association internationale de radioprotection (IRPA, *International Radiation Protection Association*) [34]. Le Gouvernement fédéral allemand a été un des premiers à réglementer l'exposition résidentielle aux CEM en 1996 [35], sur la base, en partie, des recommandations de l'IRPA. En 2004, le *National Radiological Protection Board* (NRPB) anglais a recommandé l'adoption des limites de l'ICNIRP au Royaume-Uni [36, 37]. L'Union européenne a adopté en 1999 une recommandation sur l'exposition du public et en 2004 une directive sur l'exposition professionnelle, toutes deux fondées sur les recommandations de l'ICNIRP [38, 39].

L'ICNIRP recommande des limites d'exposition pour toutes les fréquences du spectre des radiations non ionisantes. Les recommandations de l'ICNIRP sont destinées à protéger des effets indésirables considérés comme scientifiquement établis. L'ICNIRP considère les données épidémiologiques sur l'exposition à long terme à des niveaux faibles comme insuffisantes pour pouvoir établir des recommandations. Pour les champs d'extrêmement basses fréquences, les recommandations sont fondées sur les effets aigus, tels que l'excitation des nerfs et des muscles, qui permettent de montrer, pour un effet donné, des seuils spécifiques ou une quantité minimum biologiquement réelle. Une part

de l'incertitude de cette évaluation est compensée par des facteurs de réduction qui situent les limites d'exposition en dessous des seuils établis pour les effets critiques, définis comme les effets indésirables pour la santé qui surviennent au plus bas niveau d'exposition. L'ICNIRP applique un facteur de sécurité de 10 pour en déduire les limites d'exposition professionnelle et un facteur de 50 pour le public. Ce facteur de sécurité supplémentaire pour le public est justifié par le fait que les expositions professionnelles concernent majoritairement des adultes dans des conditions connues d'exposition, formés pour prendre conscience des risques potentiels et pour s'en protéger. *A contrario*, le public est composé d'individus dont le degré de santé varie, avec des groupes potentiellement sensibles et habituellement inconsients de leur exposition aux CEM.

Pour les CEM d'extrêmement basses fréquences, les limites ou les restrictions de base de l'ICNIRP sont exprimées en termes de densité de courant induit dans le système nerveux central. Les niveaux de référence sont définis comme un moyen de constater le respect des restrictions de base grâce à un moyen de mesure facilement accessible. Pour le public, les niveaux de référence pour les champs électriques et magnétiques sont respectivement de 5 kV/m et 100 μ T pour les champs de 50 Hz et de 4,2 kV/m et 83 μ T pour le 60 Hz. Pour l'exposition professionnelle, les niveaux de référence sont de 10 kV/m et 500 μ T pour le 50 Hz et de 8,3 kV/m et 420 μ T pour le 60 Hz.

Les recommandations les plus récentes fondées sur les effets aigus ont été publiées en 2002 par l'*Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) [40]. Les recommandations de l'IEEE spécifient des niveaux de référence de 5 kV/m et 904 μ T pour le public à 60 Hz. Pour les travailleurs, les niveaux de référence sont de 20 kV/m et 2 710 μ T pour les champs de 60 Hz (figure 2).

Politiques de précaution fondées sur les limites d'exposition

Certains pays ont établi des limites d'exposition de précaution, qui sont typiquement de 10 à 100 fois inférieures à celles que recommande l'ICNIRP. En 1999, la Suisse a présenté une ordonnance pour limiter l'exposition aux champs magnétiques dus aux installations telles que les lignes aériennes et souterraines de transport d'électricité, les sous-stations, les postes, les transformateurs, les installations électriques domestiques, les chemins de fer, les installations de transmission et les radars [42]. La limite d'exposition pour les champs magnétiques était fixée de manière générale à 100 μ T. Cependant, une autre limite de 1 μ T était fixée pour les « lieux à usage sensible » où des personnes sont amenées à rester pendant de longues périodes.

Le ministère israélien de l'Environnement a émis une mesure de précaution recommandant que les nouveaux équipements ne dépassent pas des niveaux d'exposition de 1 μ T. En 2003, l'Italie a modifié les limites pour les CEM adoptées en 1992 [43]. Pour le public, la limite générale d'exposition aux champs magnétiques est fixée à 100 μ T. De plus, deux limites supplémentaires ont été introduites pour les lignes électriques :

- une valeur d'attention de 10 μ T (médiane sur 24 heures) qui s'applique aux expositions qui durent plus de 4 heures par jour ;
- et un objectif qualité de 3 μ T qui s'applique seulement aux nouvelles lignes et aux nouvelles habitations.

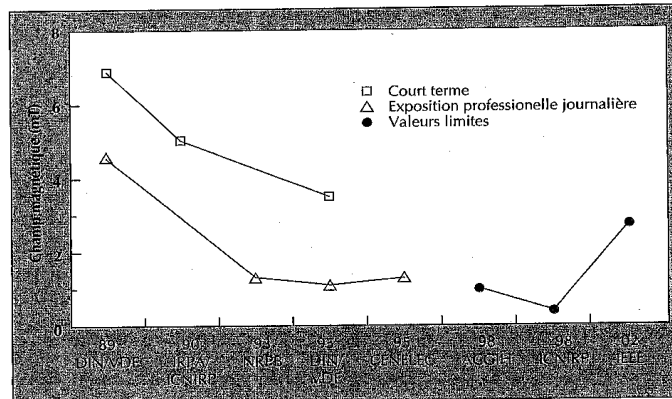


Figure 2. Évolutions des limites d'exposition professionnelle aux champs magnétiques fixées par des instances nationales ou internationales (adapté de [41]).

DIN/VDE : Deutsches Institut für Normung-Verband Deutscher Elektrotechniker ; IRPA/INIRC : International Radiation Protection Association/International Non-ionizing Radiation Committee ; NRPB : National Radiological Protection Board ; Cenelec : Comité européen de normalization électrotechnique ; ACGIH : American Conference of Governmental Industrial Hygienists ; ICNIRP : International Commission on Non-ionizing Radiation Protection.

Politiques de précaution fondées sur le statu quo

Aux États-Unis il n'existe pas de limites nationales d'exposition, mais plusieurs villes et États limitent l'exposition aux abords du couloir des lignes électriques [44]. Ces limites, établies par voie réglementaire dans certains États comme la Floride, et par des recommandations informelles dans d'autres États comme le Minnesota, sont de l'ordre de 10 kV/m dans le couloir de la ligne, de 2 kV/m sur les bords du couloir pour les champs électriques et de 1 525 µT (sous certaines conditions de charge maximum) pour les champs magnétiques. La réflexion sous-jacente est généralement, comme mesure de précaution, que des nouvelles lignes ne peuvent produire des champs supérieurs à ceux des lignes existantes.

Politiques de précaution fondées sur la séparation entre les personnes et les sources d'exposition

Une autre stratégie a consisté à limiter la construction de nouveaux sites, (particulièrement ceux où des enfants étaient susceptibles de passer beaucoup de temps) à une certaine distance des lignes électriques. En Irlande, l'*Electric Company* ne construit pas de nouvelles lignes de transport ou de sous-stations à moins de 22 m d'une construction existante ou interdit toute construction dans cette zone. Les autorités locales n'accordent pas de permis de construire aux installations de production d'électricité au voisinage des écoles et des crèches.

Aux Pays-Bas, une proposition récente comprenait une distance accrue entre les lignes et les nouveaux sites afin que l'exposition des enfants ne dépasse pas 0,4 µT. Aucune modification des sites existants n'est recommandée.

En Californie, la politique du département de l'Éducation exige que les écoles soient situées à une certaine distance des couloirs des lignes. En raison de la difficulté à trouver des terrains

suffisamment loin des lignes pour bâtir de nouvelles écoles – ce qui est problématique en zone urbaine – des dérogations sont autorisées après démonstration que les expositions des élèves et du personnel ne dépasseront pas des niveaux moyens d'environ 0,1 µT [45].

Politiques de précaution fondées sur la somme d'argent dépensée

La commission des équipements publics de l'État de Californie a une politique de « coût zéro ou faible » pour la construction de nouvelles lignes électriques qui exige que jusqu'à 4 % du coût du projet soit dépensé si une réduction substantielle (plus de 15 %) des champs peut en résulter [46]. La plupart des actions pour réduire les champs concernent des sites nouveaux car il est habituellement trop coûteux de modifier les anciens.

Politiques de précaution fondées sur des objectifs non quantitatifs

Au lieu d'établir des limites d'exposition spécifiques, la Swedish Radiation Protection Authority (*National Board of Occupational Safety and Health*) recommande de réduire les expositions en général sans fournir aucune recommandation quant aux niveaux [47]. De la même façon, le Gouvernement australien a établi des recommandations fondées sur une approche de précaution qui comporte le principe de réduction des expositions lorsque c'est facilement réalisable [48]. Cette approche implique de prendre en compte les CEM lors de la conception de nouvelles installations de transport et de distribution et de situer celles-ci à l'écart des zones sensibles.

Le cadre de précaution de l'OMS

La plupart des politiques décrites ici limitent les expositions sans prendre en compte les coûts ou spécifient les coûts sans

quantifier les réductions d'exposition. Ces applications incohérentes et peu satisfaisantes du principe de précaution ainsi que le besoin de politiques applicables en dépit des incertitudes ont conduit l'OMS à développer le cadre de précaution pour les CEM [49]. Le cadre de précaution tel que proposé par l'OMS souligne un processus qui aide au développement de politiques de santé publique et à l'application de mesures de précaution pour minimiser les risques pour la santé en dépit des incertitudes scientifiques. Les objectifs de ce cadre sont :

- d'anticiper et de répondre aux menaces possibles avant l'introduction d'un agent, d'une exposition ou d'une technologie ;
- de répondre aux préoccupations du public et de minimiser les risques éventuels pour la santé après l'introduction d'un agent, d'une exposition ou d'une technologie ;
- de développer et de choisir les options proportionnellement au degré d'incertitude scientifique, à la gravité du danger, à la taille et à la nature de la population concernée et au coût.

Le cadre est conçu comme une approche interdisciplinaire qui étaye toutes les composantes de l'évaluation et de la gestion du risque et non pas seulement comme un plan supplémentaire invoqué ou déclenché uniquement dans certaines circonstances. Le cadre intègre pertinemment les facteurs sociaux et scientifiques, d'une façon rationnelle, sans amoindrir ni diminuer la place de la science.

Principe de précaution et politique en matière de CEM : spécificités

L'application du principe de précaution aux CEM comporte plusieurs aspects originaux et intéressants, parmi lesquels l'utilisation de niveaux d'exposition quotidiens comme référence, la distinction entre les installations électriques nouvelles et existantes, l'exposition des enfants et la nature involontaire de l'exposition. Plusieurs compromis sont aussi impliqués.

Puisque, comme il est exposé plus haut, les niveaux et les caractéristiques de l'exposition potentiellement dangereux (s'ils existent) sont pour le moment inconnus, plusieurs applications du principe de précaution ont utilisé les niveaux d'exposition aux CEM existants comme référence. En Suède, les autorités locales réclament l'application du principe de précaution lorsque les champs « dévient radicalement de ce qui peut être considéré comme normal dans l'environnement concerné » [47]. De même, la commission des Services publics de New York impose aux nouvelles constructions des conceptions « qui ne produisent pas des champs magnétiques supérieurs à ceux habituellement rencontrés dans l'état » [50].

Limiter l'application du principe de précaution aux nouveaux équipements est commun à la plupart des politiques qui l'ont adopté. Dans cette attention portée aux nouvelles constructions est implicite la considération des coûts, qui sont habituellement plus élevés pour rénover des constructions anciennes que pour modifier la conception des nouvelles. Puisque les données épidémiologiques sur les effets des CEM portent surtout sur la leucémie de l'enfant et qu'il est souvent proposé une protection supplémentaire pour les enfants, certains partisans du principe de précaution ont suggéré de porter une attention spéciale aux

écoles et aux crèches (par exemple en Suède). Une analyse menée dans les règles, qui comporte des calculs de rapports coûts-bénéfices, aurait tendance à donner plus de poids à l'exposition des enfants puisque la perte potentielle d'années de vie est plus élevée.

Les décisions dans les politiques de gestion des CEM exigent la prise en compte des compromis inhérents à chaque décision. Les compromis à examiner incluent le potentiel d'augmentation du risque, de substitution du risque, de transfert du risque et de transformation du risque [51] ainsi que les coûts et les bénéfices. Réduire le risque potentiel des effets des CEM sur la santé en réduisant un des aspects de l'exposition tout en accroissant un autre, inconnu, potentiellement dangereux, est un exemple d'augmentation du risque. La substitution du risque peut être illustrée par le compromis entre l'exposition à des niveaux élevés de CEM dus aux courants vagabonds dans les habitations et le risque d'incendie ou d'électrocution lorsqu'on diminue les courants vagabonds en déconnectant le câblage électrique des tuyaux métalliques de distribution d'eau. Le transfert de la charge de l'exposition d'un groupe de personnes à un autre dans certaines stratégies de réduction, par exemple en déplaçant des transformateurs d'une salle de classe à un couloir, constitue un exemple de transfert du risque. Le risque de blessure, faible mais réel, associé aux constructions supplémentaires nécessitées par la réduction des champs est un exemple de transformation du risque.

Finalement, les sources d'exposition volontaire ou involontaire impliquent des perceptions différentes du risque [52] ; si une exposition est perçue comme imposée et involontaire, la perception du risque augmente. Même si le concept d'évitement prudent englobe des suggestions pour les expositions personnelles et volontaires aussi bien que pour celles perçues comme involontaires et imposées, la plupart des politiques adoptées jusqu'à présent se focalisent sur les expositions considérées comme involontaires.

CEM et politique

L'absence de bases scientifiques aux décisions relatives aux CEM ouvre la porte aux prises de décision politiques. Divers groupes d'intérêt ont par le passé débattu pour ou contre une approche de précaution sur la question des CEM, fondant leurs arguments sur des interprétations différentes des données disponibles.

L'attention des médias a souvent exacerbé ces différences d'interprétation, mettant en vedette une analyse et en minimisant une autre, avec un impact considérable sur les préoccupations du public. Dans les années 1980 la possibilité que les CEM soient cancérigènes est devenue le sujet de préoccupations intenses lorsqu'une large couverture médiatique de certains résultats de recherche a servi à amplifier le risque perçu par le public. Les préoccupations du public ont joué un rôle majeur dans les décisions de réglementation sur la réduction des CEM. Bien que les grandes organisations environnementales ne se soient jamais emparées de la question, des petits groupes de pression ont eu une influence considérable.

L'industrie de l'électricité a aussi influencé les décisions sur les CEM en soutenant la recherche et en conseillant une prise de

décisions fondée sur la science. En même temps, elle a résisté aux grandes actions de précaution mais a souvent encouragé les solutions simples et peu coûteuses.

Critiques du principe de précaution tel qu'il est appliqué aux CEM

Tel qu'il a été appliqué dans les politiques de gestion des CEM, le principe de précaution – ou, plus spécifiquement, l'évitement prudent – a été critiqué comme allant à la fois trop loin et pas assez. Les critiques les plus sévères, remettant en question les arguments scientifiques et politiques invoqués par les auteurs de l'évitement prudent, l'ont baptisé « le désistement de la science » [53]. Aux yeux de ces critiques, accepter l'évitement prudent revient à céder à une peur irrationnelle de l'inconnu et à rejeter l'approche scientifique de l'évaluation de risque. L'autre problème est que l'adoption de l'évitement prudent crée un précédent fâcheux pour la gestion des questions de santé publique controversées qui impliquent complexité et incertitude scientifiques. De plus, les critiques s'inquiètent du fait qu'il ne serait plus possible de s'en tenir à des stratégies de réduction de l'exposition ayant un bon rapport coût-bénéfice ; ils pensent que si la politique est dictée par les préoccupations du public plutôt que par la science, le public cherchera à imposer finalement des solutions plus coûteuses.

Des problèmes d'équité et de justice environnementales ont aussi été soulevés comme arguments contre le principe de précaution tel qu'il a été utilisé dans la question des CEM. Puisque, par exemple, le principe de précaution suggère de réduire les expositions élevées lors de la construction de nouvelles écoles, il pourrait induire une injustice environnementale car les enfants défavorisés sont plus susceptibles de fréquenter de vieilles écoles.

De l'autre côté du débat sur le principe de précaution, les critiques considèrent le principe de précaution et l'évitement prudent comme trop utilitaires, surtout quand ils comportent des considérations coût-bénéfice. Leur argument est que le rapport coût-bénéfice peut justifier des risques inacceptables pour les individus lorsque ces risques sont justifiés pour la société prise dans son ensemble. La question de justice environnementale a émergé de ce côté du débat aussi, avec le postulat que les communautés les plus pauvres ont des expositions plus élevées aux CEM et aux autres produits toxiques et méritent de ce fait une protection plus agressive que celle qui leur serait proposée si la mise en place d'une politique reposait sur une simple analyse coût-bénéfice.

Discussion

Les risques sont présents dans tous les aspects de notre vie et comportent toujours une part d'incertitude. En tant qu'individus et membres d'une société, nous pouvons et devons prendre des décisions dans l'incertitude. Et alors que la possibilité d'un risque ne justifie pas en elle-même une action, l'incertitude ne justifie pas non plus l'inaction.

Le principe de précaution est vague et permet des interprétations largement divergentes. Au mieux, tout ce que le principe de

précaution peut fournir est un cadre général. Des règles supplémentaires de prise de décision sont nécessaires comme guides pour savoir si des actions sont à mener face à l'incertitude dans une situation donnée et, dans ce cas, quelles actions doivent être choisies parmi les différentes solutions. Ces guides doivent être fondés sur la prise en compte de compromis et d'analyse coût-bénéfice.

En parallèle à la prise en compte des bienfaits de l'électricité, les énormes coûts pour la société de la réduction des champs électriques et magnétiques ont rendu la considération des coûts et du rapport coût-bénéfice essentielle dans l'application du principe de précaution. Les bienfaits de l'électricité sont énormes, tout comme les coûts d'une réduction potentielle, ce qui justifie aisément le besoin de meilleures connaissances scientifiques pour des décisions plus éclairées.

Comme il est peu vraisemblable qu'une option soit préférée en tenant compte de tous les objectifs, il est vital de bien définir les objectifs d'une décision tout comme d'accepter qu'il sera probablement nécessaire de faire des compromis parmi ces objectifs. D'autres critères devront être développés et appliqués et dépendront peut-être des spécificités de celui qui applique le principe de précaution et dans quel but. Ces critères seront plus ou moins normatifs selon qu'il s'agit d'un individu, d'une industrie ou d'un gouvernement qui applique le principe de précaution et aussi selon ce qu'il s'agit de protéger : la santé ou l'environnement. À notre connaissance, le principe de précaution n'a jamais été utilisé dans les situations professionnelles, encore qu'il y ait des similarités entre l'évitement prudent et le principe ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*) utilisé en radioprotection.

Le principe de précaution est de plus en plus invoqué dans les politiques environnementales et a été utilisé comme un outil de gestion de la question des CEM aussi bien par des individus que par des autorités nationales et régionales. S'il est certes attirant en tant que principe général, les particularités de son application font toute la différence. Pour être plus utile, le principe de précaution doit être lié directement à l'évaluation de risque [54]. Or actuellement, le principe de précaution et l'évaluation de risque consciencieuse sont vus comme deux approches totalement différentes, en partie à cause de différences de terminologie. Le cadre de précaution de l'OMS a été rédigé pour minimiser plusieurs problèmes potentiels identifiés dans ce domaine ; plus sérieusement, il appelle à rompre avec un processus à sens unique d'évaluation de risque par les scientifiques qui mène à la gestion du risque par les décideurs puis à la communication à destination du public. *A contrario*, il recommande une approche itérative, interdisciplinaire, dans laquelle la précaution s'applique à toutes les étapes et implique toutes les parties prenantes.

La science et le discernement jouent tous deux un rôle pivot dans toute évaluation de risque. L'adoption du principe de précaution n'élimine pas (et peut-être même augmente) le besoin de réduire l'incertitude. Une telle théorie doit pouvoir fournir les moyens de surveiller les conséquences des décisions et d'affiner ces décisions qui, prises en situation d'incertitude, ne seront pas toujours valables. ■