

Effets biomédicaux des champs électromagnétiques et médecine du travail

Nîmes, 27-28 septembre 1997

L'étude des risques liés aux rayonnements non ionisants est particulièrement complexe :

- *du fait des multiples types de champs et rayonnements électromagnétiques avec lesquels les salariés peuvent être en contact*
- *de l'insuffisance des données scientifiques incontestables sur les risques pour la santé, surtout quand il s'agit de champs électromagnétiques de faible intensité.*

Dans le cadre du cinquantenaire de l'INRS, et en partenariat avec la Coopération européenne dans les domaines scientifiques et techniques (COST 244 bis), était organisé à Nîmes un colloque permettant de faire le point sur les connaissances actuelles en la matière.

1. Surveillance médicale des travailleurs exposés

EXPOSITION PROFESSIONNELLE

B. Floderus de l'Institut suédois de santé au travail rappelle que l'exposition professionnelle aux champs électromagnétiques est ubiquitaire mais très hétérogène du fait de la diversité des sources et de l'environnement électromagnétique des postes de travail. Le National Institute for Working Life en Suède a mené une étude épidémiologique sur l'exposition aux champs électromagnétiques à plus de 1000 postes de travail différents. Celle-ci a permis de distinguer deux populations exposées : une soumise à une moyenne d'exposition élevée et une autre soumise à une exposition variable avec des pics importants.

Il est cependant difficile de définir le rôle de cer-

tains paramètres de l'exposition. Ainsi, pourrait-on attribuer plus d'importance aux champs électriques, à certaines fenêtres de fréquence spécifiques ou aux interactions entre les champs statiques et variables.

Les recherches en médecine du travail concernant les champs électromagnétiques sont plus particulièrement focalisées sur la cancérogenèse (leucémies, tumeurs cérébrales, cancers hormono-dépendants...), mais aussi sur certaines maladies psychiatriques (dépression et suicides) et neurologiques (Alzheimer, sclérose latérale amyotrophique).

Il n'y a pas pour l'instant de certitude sur l'association entre une exposition professionnelle aux champs électromagnétiques et la survenue d'un cancer du cerveau ou d'une leucémie, ainsi qu'entre l'exposition aux champs des lignes électriques et les leucémies de l'enfant. Le risque relatif statistique, stable depuis une dizaine d'années en dépit de méthodologies de plus en plus performantes, se situe légèrement au dessus de 1 pour les ELF (50 - 60 Hz) (cf. le tableau I pour la classification des rayonnements non ionisants). La

R. DE SEZE (*), L. MIRO (*),
M.O. WEHR (*),
E. MANSOUR (*),
P. MÉREAU (**)

(* Service de Biophysique
médicale, CHU de
Nîmes-Carêmeau.
(**) Direction des
Applications-Prévention,
INRS, Paris.

INRS

Documents
pour le médecin
du travail
N° 73
1^{er} trimestre 1998

difficulté à évaluer l'exposition réside dans le choix des paramètres à prendre en compte : dose instantanée, dose cumulée, âge... qui peuvent entraîner des résultats contradictoires. Il faut souligner que l'exposition « résidentielle » (c'est-à-dire domestique) doit être également prise en compte, en particulier si l'on considère l'exposition cumulée, car elle est souvent prédominante vis-à-vis de l'exposition professionnelle. Parmi les professions soumises à des champs magnétiques, le travail devant écran de visualisation ne donne pas lieu à une exposition de forte intensité, mais doit être pris en compte en raison de son utilisation largement répandue, notamment chez les femmes.

L'association avec les pathologies psychiatriques est faible, mais cette piste de recherche est intéressante car les résultats apporteraient des arguments pour préciser si la mélatonine est impliquée ou non dans les effets des champs magnétiques sur la santé. Les premiers résultats sur les pathologies neurologiques indiquent un facteur de risque plus important que dans les études sur le cancer, mais ces travaux demandent à être confirmés par des recherches complémentaires avant de pouvoir en tirer des conclusions.

Actuellement, les résultats des études épidémiologiques sont variables d'un pays à l'autre. Cela peut s'expliquer par les différences de méthodologie (méthode statistique...) mais aussi par d'autres facteurs plus hypothétiques comme le climat extérieur, la susceptibilité ethnique, qui pourraient jouer un rôle dans la variabilité des résultats.

Afin de ne pas négliger le risque que représente l'exposition aux champs électromagnétiques par rapport à d'autres nuisances professionnelles, il est important de mieux évaluer les paramètres de l'exposition (autant professionnelle que domestique) et

d'appliquer des mesures, qui à l'heure actuelle, faute de connaissances approfondies et de moyens adaptés, relèvent souvent du seul "bon sens". Malgré ces mesures de précaution, il existe une inquiétude grandissante du public concernant les possibles effets nuisibles des champs électromagnétiques, que ce soient les ELF, les radiofréquences (RF) ou les micro-ondes (MO). Cette inquiétude est alimentée par l'apparition, chez certains sujets, en cas d'exposition, d'une symptomatologie subjective appelée « hypersensibilité électromagnétique » (HSEM).

HYPERSENSIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE

U. Bergqvist du National Institute for Working Life suédois précise que l'HSEM concerne la symptomatologie subjective qui apparaît chez certains individus lors de l'utilisation ou de l'approche de sources électriques, magnétiques ou électromagnétiques et d'appareils électriques. Très variable individuellement et géographiquement, il s'agit de symptômes peu sévères, aspécifiques (symptômes neurovégétatifs ou cutanés chez des personnes travaillant devant écran), ne s'accompagnant souvent d'aucun signe objectif (sauf si une autre pathologie est associée). Certains cas cependant entraînent des répercussions sérieuses sur la vie quotidienne et professionnelle.

Une revue de la littérature n'a pas permis d'établir une relation entre l'exposition aux champs et les symptômes décrits ; il faut noter de plus l'efficacité très médiocre de la réduction des champs. Dans l'ensemble, les résultats sont souvent inconsistants et contradictoires. La symptomatologie peut apparaître dans les bureaux suédois pour des expositions à des champs magnétiques de 0,1 - 0,2 µTesla (µT) et pour

TABLEAU I

Répartition des ondes électromagnétiques en fonction de leur longueur d'onde et de leur fréquence

Gamme du spectre	Sigles (anglo-saxons)	Longueurs d'onde	Fréquences
Extrêmes basses fréquences	ELF*	> 30km	> 0 Hz à 10 kHz
Radiofréquences	VLF	10 km à 30 km	10 kHz à 30 kHz
	LF	1 km à 10 km	30 kHz à 300 kHz
	MF	100 m à 1 000 m	300 kHz à 3 MHz
	HF	10 m à 100 m	3 MHz à 30 MHz
Hyperfréquences	VHF	1 m à 10 m	30 MHz à 300 MHz
	UHF	1 dm à 1 m	300 MHz à 3 GHz
	SHF	1 cm à 1 dm	3 GHz à 30 GHz
	EHF	1 mm à 1 cm	30 GHz à 300 GHz

* ELF : correspond, à l'exclusion des champs statiques, à la gamme des basses fréquences adoptée par le CENELEC (TC 111), comité européen électrotechnique de normalisation, chargé des normes de sécurité concernant les ondes électromagnétiques.



des champs électriques de 10 - 20 V/m, qu'il y ait ou non des écrans de visualisation. Cette symptomatologie est beaucoup plus patente lors d'expositions à des champs électromagnétiques plus élevés bien qu'encore en dessous des valeurs limites d'exposition (VLE) recommandées par les normes. Ainsi trois études ont été réalisées dans chacune desquelles 300 personnes ont été soumises à un champ électromagnétique afin de tester l'apparition d'une HSEM. Il en résultait que 10 % dans chaque groupe éprouvaient des troubles dont 2 % étaient graves. Ceci est en faveur d'une hypersensibilité réelle des personnes.

La relation avec le travail n'a pas pu être mise formellement en évidence. Toutefois le principal facteur qui favorise le déclenchement d'une HSEM est le stress sous toutes ses formes : insatisfaction sur le lieu du travail, mauvaise ambiance, manque d'expression personnelle... « éléments » qui sont fréquemment retrouvés lors du travail devant écran de visualisation. Le phénomène d'autosuggestion peut également contribuer notablement à l'apparition des symptômes décrits.

Plusieurs études ont essayé de mettre en évidence un facteur biologique qui pourrait constituer un indicateur d'effet des champs électromagnétiques sur la santé et qui servirait de support à l'évocation d'un mécanisme physiopathologique. Il est ainsi apparu que parmi des personnes qui travaillaient devant un écran, la prolactinémie était plus élevée chez celles qui présentaient des problèmes cutanés que chez celles qui n'en présentaient pas. De même, une augmentation de la cortisolémie a été observée après plusieurs années de travail devant écran (témoignant peut-être simplement du stress que subissent ces personnes ?).

En résumé, on penche davantage vers un mécanisme polyfactoriel, dans lequel interviendraient autant les individus avec leur ressenti personnel, que les facteurs d'environnement social et physique auxquels ils sont soumis (taux d'humidité et lumière ambiante), prenant parfois la forme d'une sorte de psychose collective des champs électromagnétiques.

Quelques recommandations pratiques peuvent être appliquées :

- mesures préventives consistant à renforcer l'information et à réduire les facteurs déjà connus pour provoquer des effets indésirables, tels que la qualité de l'air ou les conditions de stress,
- prise en charge motivée et rapide des cas concernés, avec examen médical visant à dépister une éventuelle pathologie associée et investigations à la recherche d'autres facteurs susceptibles d'interagir,
- traitement symptomatique visant à réduire le handicap fonctionnel.

EFFETS AIGUS D'UNE SUREXPOSITION

Lorsqu'on évoque les risques pour la santé des champs électromagnétiques, on peut clairement distinguer les effets éventuels d'une exposition chronique à de faibles intensités des effets aigus objectifs d'une surexposition. R. de Sèze rapporte que de tels accidents sont rares et, comme le mode d'interaction des champs électromagnétiques avec l'homme est différent de celui des autres facteurs thermiques, il est difficile de savoir comment explorer, traiter et surveiller le personnel exposé.

Outre les résultats de l'expérimentation animale qui sont parfois difficilement transposables à l'homme, un enseignement peut également être acquis à partir des accidents domestiques ou de surexpositions lors de traitements anticancéreux par hyperthermie :

→ dans la plupart des cas, ces accidents sont provoqués par la mise en route inopinée d'un système d'émission au cours d'une maintenance ou d'une réparation, ou par la déficience d'un système de sécurité ;

→ les caractéristiques physiques de l'exposition sont souvent insuffisamment décrites : en particulier le diagramme du rayonnement et la position du sujet relative à ce diagramme, qui conditionnent l'ampleur de l'interaction, sont souvent inconnus ou omis. Le débit d'absorption spécifique (DAS) ⁽¹⁾ est, pour ces effets, un paramètre plus signifiant que la fréquence ;

→ parmi les symptômes cliniques, la perception de chaleur est quasiment constamment retrouvée, de même que des céphalées lorsque la tête est située dans le faisceau d'exposition. Une neuropathie des territoires exposés est également fréquemment décrite. La cataracte, qui peut être provoquée expérimentalement chez le lapin, est très rarement retrouvée chez l'homme ; ceci serait lié à des différences de durée d'exposition ;

→ les signes biologiques, rarement présents, sont constitués dans les cas les plus graves par une élévation de la créatine phosphokinase. Les examens complémentaires sont souvent négatifs, ne permettant, dans la plupart des cas, que de mettre en évidence la neuropathie par des examens neurophysiologiques ;

→ la thérapie est dans la plupart des cas symptomatique, plus rarement chirurgicale (2 cas décrits de brûlures cutanées des mains). Les micro-ondes peuvent induire une coagulation de type plaquettaire, parfois même sans qu'il y ait eu sensation de chaleur. Si, par exemple, quelqu'un introduit sa main dans un four à micro-ondes en fonctionnement, les deux sécurités étant en panne, un risque prévisible est une radionécrose osseuse par coagulation de l'artère nourricière de l'os, qui se manifesterait quelques jours plus tard

⁽¹⁾ DAS : équivalent français du SAR anglais (Specific Absorption Rate). C'est l'absorption énergétique massique dans les tissus, calculée comme la dérivée dans le temps de la quantité d'énergie absorbée (dW) par une masse élémentaire (dm) ou contenue dans un volume élémentaire (dv) de masse volumique ρ . Il est exprimé en $W.kg^{-1}$

$$DAS = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW}{dm} \right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW}{\rho \cdot dv} \right)$$

par des douleurs. La surveillance initiale doit donc être une surveillance clinique quotidienne pendant une semaine. Pour d'autres organes, le risque et la surveillance sont à étudier au cas par cas en tenant compte de tous les paramètres d'exposition ;

→ on constate que les signes subjectifs disparaissent tous dans des délais variables. A l'exception des brûlures et d'un cas d'hypoperfusion cérébrale mise en évidence par débit sanguin cérébral régional, les troubles objectifs se sont également tous révélés réversibles.

Cette synthèse incite à développer des moyens de prévention dont le coût doit être mis en balance avec la rareté des cas. Il semble que le moyen le plus efficace soit la formation des personnes exposées et l'établissement de protocoles de sécurité rigoureux, adaptés à chaque configuration et permettant d'éviter le déclenchement inopiné des systèmes d'émission.

Dans plusieurs cas, il n'est pas rapporté de symptomatologie chez des militaires de l'US Air Force cependant exposés à des doses plus importantes que celles rencontrées en milieu industriel. Ceci serait compréhensible si l'exposition industrielle se faisait plutôt en champ lointain. En effet, à DAS égal, on pourrait s'attendre à ce que l'exposition en champ lointain soit plus nocive car, le corps entier étant dans le faisceau, la circulation sanguine ne pourrait plus évacuer le surplus de calories. En fait, les lésions accidentelles de surexposition se produisent plus fréquemment en champ proche car la densité de puissance est plus élevée à proximité de la source. Cet exemple suggère soit que le DAS n'a pas été correctement évalué dans l'un de ces groupes, soit que d'autres paramètres importants n'ont pas été suffisamment définis.

RÉSEAU DE VIGILANCE

L. Miro présente une banque de données recensant les principaux problèmes liés aux champs électromagnétiques y compris les signes pouvant évoquer une HSEM (cf. dans ce même numéro "Champs et ondes électromagnétiques : réseau de vigilance et de consultations").

Comme premier résultat concret, la base a permis de constater que les appareils de RMN (résonance magnétique nucléaire) étaient implantés sans tenir compte des personnes et des matériels dans les pièces situées au-dessus ou en dessous, ceci au vu du nombre de questions concernant la perturbation des ordinateurs situés dans ces pièces. Cette perturbation étant source d'inquiétude vis-à-vis de la santé, il s'est avéré judicieux d'alerter l'administration sur la nécessité de réaliser une étude d'implantation de ces appareils avant leur mise en place.

En 9 ans, dans une même entreprise, 3 tumeurs cérébrales ont été diagnostiquées. L'étude des cas a conduit à s'interroger sur la relation possible entre une exposition conjuguée aux champs électromagnétiques et aux solvants et la survenue d'une tumeur primitive du cerveau. De telles situations sont difficiles à interpréter. On connaît l'existence de "clusters" ou regroupements de cas du seul fait du hasard. Avant de conclure à une relation de cause à effet, il faudrait pouvoir assurer le suivi d'un grand nombre de sujets exposés et surtout rechercher tous les facteurs confondants. C'est dans de telles circonstances que la banque de vigilance suscitée devrait permettre de faire progresser les connaissances en rapprochant des cas similaires isolés.

La question se pose également de savoir si des expositions répétées à des doses de rayonnements non ionisants, qui prises individuellement ne sont pas nocives, peuvent engendrer des symptômes. Pour que d'éventuelles perturbations pathologiques puissent être attribuées aux champs électromagnétiques, et secondairement prévenues, des mesurages systématiques s'imposent sur les lieux du travail, en particulier lorsque plusieurs appareils électriques coexistent. La banque de données devrait dans le futur faciliter l'analyse de ces symptômes en décelant ou non une cohérence par rapport aux paramètres d'exposition, aussi bien temporels qu'en intensité.

Parmi les professions soumises à des expositions répétées, les soudeurs font l'objet de préoccupations particulières. Ils utilisent des courants de 30 V et de 300 à 400 A, à 50 Hz, pulsés, redressés ou en continu. De ce fait leurs corps sont soumis à des courants induits dont les effets sont encore trop peu connus. En France, ce problème est actuellement étudié par l'Institut de soudure et l'INRS.

2. Etat des connaissances sur la mesure et la dosimétrie en champ proche au poste de travail

MÉTROLOGIE

J.P. Vautrin rappelle qu'avant d'effectuer des mesures des champs aux postes de travail il faut d'abord définir quels équipements et/ou sites nécessitent ces mesurages. En voici quelques exemples (avec les composantes électromagnétiques à mesurer) : cuves d'électrolyse et électrolyseurs dans l'industrie du chlore et de l'aluminium (champs magnétiques statiques), lignes d'énergie secteur/transformateurs (champs magnétiques de 50 ou 60 Hz), fours à induction (champs magnétiques entre 50 Hz et plusieurs MHz selon l'appareil), écrans vidéo et de télévision (champs électrostatiques, champ électriques ou magnétiques 50 ou parfois 100 Hz, champs électromagnétiques 15 à 20 kHz), presses hautes fréquences (champs électriques 6,75 ou 13,5 ou 27 MHz selon l'appareil), fours à micro-ondes (champs électromagnétiques, valeurs d'exposition et valeur des fuites à 5 cm), radars (champs magnétiques et électriques ou densité de puissance équivalente en champ proche, densité de puissance en champ lointain).

Ensuite, il faut savoir quelles sont les grandeurs physiques à étudier. Il y en a de deux sortes :

→ les premières sont les grandeurs de base ou fondamentales : au delà de 10 kHz, c'est le DAS ; en dessous de 10 kHz, c'est la densité du courant induit dans le corps. En fait, les courants induits peuvent être non négligeables jusqu'à quelques MHz. Ces 2 grandeurs peuvent être mesurées en laboratoire, ou calculées ;

→ les deuxièmes sont les valeurs dérivées, qui sont plus faciles à mesurer en situation réelle : pour les champs magnétiques statiques, densité de flux ou induction, mesurées par une antenne à effet Hall ; pour les champs magnétiques alternatifs, champ ou densité de flux mesurés par un champmètre pour des fréquences de 1 kHz, par un gaussmètre ou une boucle associée à un appareil de mesure pour des fréquences de 10 kHz, par une boucle associée à un récepteur sélectif ou à un analyseur de spectre au-delà de quelques MHz ; pour les champs électriques et électromagnétiques, mesure du champ par une antenne associée comme précédemment à un récepteur sélectif ou à un analyseur de spectre.

Des protocoles de mesure ont été mis en place,

permettant la reproductibilité nécessaire à l'interprétation des résultats. Ces protocoles tiennent compte, entre autres, des problèmes ou précautions suivants : proximité de corps réflecteurs ou absorbants, polarisation de l'onde, présence d'autres sources d'émission (autres machines), présence d'harmoniques (on ne s'intéresse souvent qu'à la fréquence fondamentale et parfois au premier harmonique), dérive des oscillateurs... ce qui implique que les personnes effectuant les mesures soient compétentes pour les conditions particulières du champ proche.

En fonction des résultats, les conduites à tenir sont différentes : soit les valeurs mesurées sont nettement inférieures aux valeurs limites d'exposition de la norme ENV 50166-2 et on peut rassurer les intervenants ; soit les grandeurs sont proches ou supérieures aux valeurs limites, et dans ce cas, il faut ou bien réduire les valeurs des champs (en vérifiant le bon réglage et l'entretien des appareils, en adjoignant des blindages, en vérifiant la mise à la terre des appareils, en interdisant le port d'objets métalliques dans le champ...), ou bien modifier le site de travail (éloignement de l'opérateur de la zone surexposée, automatisation du travail, roulement du personnel, port de vêtements de sécurité...).

Bien que perfectible comme il l'est à l'heure actuelle, le mesurage permet d'appréhender la nuisance électromagnétique. Il convient cependant de rester vigilant car l'innovation technologique peut créer de nouvelles sources de risque. Et le meilleur moyen pour que les applications électromagnétiques ne créent pas d'effets pernicieux pour le personnel qui les côtoie passe par les relations directes et confiantes entre les préventeurs, les industriels, les médecins du travail et les organismes de contrôle et de mesurage.

VALEURS LIMITES

J. Wiert rappelle que le DAS quantifie la puissance absorbée par les tissus et dépend de la conductivité, de la densité des tissus et du champ électrique à l'intérieur des tissus. A basse fréquence, ce champ interne est bien plus faible que le champ mesuré dans l'air en l'absence de tissu biologique. C'est ce DAS qui est actif sur un plan biologique. La réaction physiologique à l'énergie absorbée est variable selon les organes, en fonction, entre autres, de leur vascularisation.

La limite de DAS établie par la plupart des pays est de 0,4 W/kg au niveau du corps entier, en tenant compte d'un facteur de sécurité de 10 par rapport à la valeur seuil qui provoque une réaction comportementale chez l'animal. La norme ENV 50166-2 concerne

INRS

Documents
pour le médecin
du travail
N° 73
1^{er} trimestre 1998

les magnitudes du champ électrique, du champ magnétique et de la densité des puissances applicables aux travailleurs exposés pour les champs radiofréquences. La norme ENV 50166-1 définit de même les valeurs de champ et/ou de courant induit pour les champs statiques et de basse et très basse fréquence. Ces valeurs limites retenues dans ces normes sont basées sur les données épidémiologiques et expérimentales et sont appelées à évoluer avec le progrès des connaissances. Même si les critères d'établissement de ces normes sont discutés par certains, le respect des valeurs limites constitue actuellement la meilleure mesure de précaution.

L'énergie émise peut être mesurée par des appareils, le DAS ne peut être que le résultat d'un calcul. Si les valeurs limites dérivées sont dépassées de façon localisée ou temporaire, le DAS doit être vérifié par le calcul. La modification du matériel émetteur s'impose uniquement si le DAS est également dépassé. Actuellement, même après vérification de leur bon fonctionnement, seuls certains appareils émetteurs d'un type ancien peuvent présenter un dépassement des valeurs limites. A l'avenir, grâce à la normalisation de tous les appareils, ces situations ne devraient plus se présenter. La proximité d'un four à micro-ondes n'est pas dangereuse si celui-ci ne fuit pas. En revanche, l'utilisation d'un téléphone mobile à proximité d'un radar, ou d'une autre antenne quelconque, est à considérer dans l'évaluation de l'exposition globale. Il y a alors addition quadratique de toutes les composantes du champ. Remplacer l'antenne filaire des radiotéléphones par un patch constitue une des solutions pour limiter la puissance atteignant les tissus, mais elle est limitée par les contraintes de qualité du service (téléphones Hagenuk). Les téléphones avec ce type d'antenne ne sont en effet pas appropriés aux régions rurales, par exemple.

3. Contribution des études expérimentales à la surveillance des travailleurs exposés aux champs électromagnétiques

EXPÉRIMENTATION IN VITRO

B. Veyret présente les expérimentations in vitro qui couvrent les différentes gammes de fréquence depuis le statique jusqu'aux micro-ondes, à l'exception des fréquences intermédiaires situées entre les ELF (< 300 Hz) et les hautes fréquences (≥ 27 MHz). Il rappelle que l'extrapolation à l'homme est très délicate.

Pour effectuer des expositions de cellules en culture à des champs électromagnétiques dans des conditions bien caractérisées, il est nécessaire de faire des mesures de dosimétrie sur les systèmes d'exposition. Ces dispositifs sont toujours constitués d'au moins deux systèmes identiques, l'un d'entre eux, inactivé, permettant une exposition fictive. Il faut pouvoir choisir les paramètres physiques de l'exposition et faire varier certains d'entre eux en rapport avec les paramètres mesurés sur les lieux de travail. La notion de dose, qui est habituelle en toxicologie ou en radioprotection, n'est pas toujours applicable en bioélectromagnétisme : certains chercheurs ont montré qu'il existe des "fenêtres" dans lesquelles se produisent les effets.

Avec des champs magnétiques statiques, des effets ont été observés sur des réactions biochimiques, mais rarement sur des cellules en culture. Il a été montré une inhibition de 20 % de l'activité cholinestérasique de cellules murines de moelle osseuse quelques heures après exposition à un champ de 1,4 T. Plusieurs autres expériences à des champs plus faibles se sont révélées négatives. La consistance des effets rapportés serait nettement renforcée par la mise en évidence d'un mécanisme plausible. Une des hypothèses les plus récentes implique l'effet des champs statiques sur la cinétique de recombinaison de paires de radicaux. Des études biochimiques supportent cette hypothèse, mais pas pour l'instant les études sur cellules en culture. On constate donc le manque de cohérence entre d'une part les effets observés chez l'animal et d'autre part des mécanismes plausibles s'appuyant sur des réactions biochimiques, mais qui

ne peuvent pas être appliqués ou démontrés sur des cellules en culture. Ces effets ne sont pas non plus démontrés chez l'homme.

A de très basses fréquences (principalement 60 Hz), différents effets ont été observés sur la prolifération cellulaire, autant dans le sens d'une stimulation que d'une inhibition. Ces résultats, bien que pouvant découler d'un effet biologique primaire commun sur des types de cellules différents, ne traduisent pas un effet global univoque. Un effet sur l'expression des gènes a pu être observé sur un modèle de transcription en absence de cellules donc de membranes. Cette expérience est importante, car la plupart des hypothèses de mécanisme d'action s'orientaient auparavant sur un effet membranaire, péri-membranaire ou transmembranaire et elle permet d'évoquer un effet direct sur l'expression des gènes. Ces effets n'ont, pour l'instant, pas été retrouvés par d'autres équipes.

EXPÉRIMENTATION IN VIVO

N. Leitgeb rappelle que pour pouvoir considérer comme nuisible l'exposition prolongée ou chronique aux champs électromagnétiques, trois prérequis sont nécessaires :

- la mise en évidence de modifications biologiques même mineures entraînées par les champs électromagnétiques à bas niveau d'exposition,
- la démonstration de l'irréversibilité ou de la persistance prolongée de ces modifications,
- la mise en évidence du dépassement des capacités de régulation du corps humain avec effet cumulatif.

Par ailleurs, il faut tenir compte du fait que les champs électromagnétiques peuvent constituer un co-facteur ou un facteur confondant par rapport à d'autres nuisances professionnelles.

L'approche scientifique des effets nuisibles des champs électromagnétiques est basée sur l'utilisation de quatre techniques d'exploration différentes :

- les méthodes théoriques utilisant la modélisation mathématique,
- l'expérimentation in vitro (physique, biochimique, biophysique et biologique),
- l'expérimentation in vivo sur animaux et, complémentairement, chez l'homme,
- l'étude statistique des données épidémiologiques.

L'extrapolation des résultats à l'homme ne peut se faire qu'après détermination de l'équivalence d'intensité et adaptation des paramètres d'exposition en fonction de la taille du sujet d'étude.

L'expérimentation in vivo permet de constater :

- des effets sur le cycle nyctéméral et la mélatonine chez des primates et des rongeurs ; ce sont les effets biologiques les plus souvent rapportés ;
- une augmentation significative du taux de malformations des embryons de poulets qui reste controversée. Quelques résultats positifs sur des mammifères n'ont pas été contrôlés ;
- un effet carcinogène discuté : il n'y aurait pas d'effet initiateur lié aux RF ou aux ELF, mais peut-être un effet co-promoteur ;
- aucune modification du système hématologique ou immunitaire de volontaires soumis à 10 μ T, 50 Hz de façon continue ou intermittente pendant 3 jours ; le seul effet confirmé est la perception acoustique des RF à des DAS, moyennés dans le temps, nettement inférieurs au seuil thermique avec des champs pulsés ;
- le phénomène de l'HSEM reste à préciser par des tests de provocation.

Ces constatations permettent de faire quelques recommandations pratiques qui rejoignent celles déjà présentées par Bergqvist :

- mesurer les champs et vérifier que les valeurs limites d'exposition ne sont pas dépassées,
- informer sur les risques éventuels des champs électromagnétiques, les normes et les mesures prises par les entreprises pour s'y conformer,
- améliorer les autres facteurs d'environnement professionnel : ergonomique, organisationnel (stress), psychosocial (communication),
- appliquer le principe d'évitement prudent comme, par exemple, pour la femme enceinte : les lignes à haute tension et les champs électromagnétiques ne constituent pas un risque prouvé de malformation ; toutefois, en cas de phobie, il est préférable d'envisager un changement de poste ou un déménagement pour éviter un problème médico-légal s'il survient une malformation. Le même principe peut être appliqué quant à la réexposition à des champs électromagnétiques de cancéreux traités du fait du rôle éventuel de co-facteur ;
- en cas de symptômes cliniques, rechercher d'autres causes plus probables.