

Laboratoire Universitaire de Biophysique Médicale
Service de Biophysique Médicale
Chef de Service : Professeur Luis MIRO
Assistant : Dr Jean AYOUB - Dr René De SEZE
tel 66 68 32 44

②

LES EFFETS BIOLOGIQUES DES CHAMPS ELECTROMAGNETIQUES

RADIO-FREQUENCE

Sur le plan de l'action biologique de ces rayonnements, de très nombreux travaux ont été réalisés mais les résultats publiés sont discordants, ce qui a entraîné un certain discrédit à leur encontre.

Il ne nous semble pas utile de passer en revue l'ensemble des publications. Nous nous contenterons d'analyser effet par effet les résultats obtenus en essayant d'en faire une synthèse utilisable en médecine du travail. Enfin, on tentera d'établir les principales caractéristiques de l'action biologique des Radio-Fréquences

1 Effet Thermogène

Depuis le début du siècle, les R.F. sont utilisées en Médecine sous le terme de "diathermie" c'est-à-dire d'échauffement au travers des tissus. En effet, lorsque l'énergie absorbée atteint un niveau suffisamment important, sa transformation locale en chaleur entraîne une élévation thermique des tissus dans lesquels elle se produit ; c'est le phénomène utilisé dans les fours à micro-ondes.

1-1 Effet thermogène loco-régional

Cet effet thermogène va entraîner suivant son importance :

- une vasodilatation loco-régionale avec toutes les réactions physiopathologiques qui s'y rattachent : augmentation des métabolismes, élimination des déchets métaboliques, modification des échanges hydriques et ioniques...

- une altération plus ou moins transitoire des systèmes enzymatiques avec les perturbations métaboliques correspondantes

- une coagulation des protéines aboutissant à la mort cellulaire et à la brûlure tissulaire.

Naturellement cette élévation thermique est fortement modulée par la circulation qui évacue, tout ou partie des calories produites.

Cet effet, qui est à la base de la physiothérapie, semble donc bien connu. Cependant il faut admettre que son utilisation ne tient actuellement pas compte de la complexité de l'interaction onde-matière et en particulier des multiples réflexions entraînées au niveau des interfaces tissulaires, de l'hétérogénéité de l'absorption énergétique intra-tissulaire et des facteurs d'environnement qui peuvent modifier l'élévation thermique.

1-2 Action sur le cristallin

Le cristallin est particulièrement sensible du fait de son avascularisation et de son absorption préférentielle de ces ondes.

La formation d'une cataracte est essentiellement due à une élévation thermique dépassant 41°. C'est donc la puissance moyenne et non la puissance crête qui est en cause. Cependant, plusieurs expérimentations ayant montré que l'élévation progressive de la

température à plus de 41° par d'autres méthodes n'entraînait pas de lésion, on peut supposer que l'effet thermique n'est pas seul en cause.

Il a été déterminé un seuil d'exposition de 150 mW.cm^{-2} au-delà duquel apparaît une cataracte, le temps d'exposition dépendant de la fréquence émise, de la modulation de l'émission et de l'environnement.

Cependant en cas d'irradiations répétées à des expositions inférieures au seuil, une cataracte peut survenir si la fréquence des agressions ne permet pas une réparation des lésions physico-chimiques infra-liminaires entraînées par chaque exposition.

Sur le plan pratique, le problème est donc loin d'être totalement maîtrisé.

2 Effets "Spécifiques"

A côté de cette action biologique "thermique", d'autres effets ont été décrits qui ne paraissent pas dus à ce dégagement régional de chaleur. Or ceux-ci semblent difficilement reproductibles, ce qui a entraîné une controverse parfois vchémement sur leur existence.

En fait l'étude analytique des paramètres des expérimentations ayant abouti à la négation ou à la réalité de ces effets montre que les premières utilisent des expositions énergétiques importantes et des temps d'irradiation brefs, alors que les secondes correspondent à des densités de puissance faibles et à des durées d'exposition le plus souvent longues ; il s'agit donc de deux catégories d'expérimentations ne traitant pas du même sujet.

Par ailleurs, si on compare entre elles deux expériences apparemment similaires, mais aboutissant à des résultats contradictoires, on s'aperçoit que dans tous les cas, un ou plusieurs paramètres diffèrent significativement ; donc comme précédemment il s'agit en fait de deux expérimentations différentes.

Enfin, les mécanismes physio-pathologiques mis en oeuvre dans certaines expériences étant inhibés par l'hyperthermie, leurs auteurs en ont conclu à l'existence d'un effet "autre que thermique" faisant appel à des mécanismes différents.

Cette controverse est donc assez malsaine car pseudo-scientifique et pour notre part nous ne ferons que relater les principaux résultats obtenus en affectant le terme "spécifique" aux effets ne relevant pas d'une élévation thermique globale ou régionale mesurable.

Compte tenu du nombre d'expérimentations effectuées dans ce domaine, nous n'en réaliserons pas une revue exhaustive mais nous nous bornerons à entrevoir l'effet des R.F. sur des systèmes capitaux pour l'homéostasie animale.

2-1 Action sur le système nerveux central (SNC)

Plusieurs auteurs ont rapporté que les micro-ondes peuvent entraîner des modifications de l'EEG à certaines fréquences et à certaines densités de puissance (12 à 16 Hz, 10 W.m^{-2}).

D'autres ont décrit une augmentation de la perméabilité de la barrière hémato-encéphalique à certaines substances de poids moléculaire élevé ; résultat qui a été controversé. Cependant les techniques utilisées n'étant pas identiques et spécifiques de la perméabilité de la BHE, le doute persiste.

Par ailleurs, une variation de la sensibilité aux médicaments neurotropes a été rapportée chez des animaux soumis à des C.E.M.

On a tenté d'expliquer cette action des C.E.M. sur le SNC par la mise en évidence d'une modification de la migration calcique à l'extérieur des tissus cérébraux soumis à des CEM de 11 à 16 Hz avec une densité de puissance de $0,75 \text{ mW.g}^{-1}$ (effet fenêtre).

2-2 Action sur le comportement

Des études portant sur l'action des C.E.M. sur le comportement inné et acquis ont montré

- pour des expositions courtes avec un $\text{SAR} > 4 \text{ W.kg}^{-1}$, une modification du comportement moteur et des performances des activités acquises
- pour des expositions plus longues ces mêmes modifications sont notées mais ne surviennent que pour un SAR précis, variable avec la fréquence (par exemple $0,9 - 2 \text{ W.kg}^{-1}$ à 915 MHz).

Par ailleurs de l'ensemble des études, il semble ressortir :

- une fatigabilité accrue des animaux exposés
- une diminution de leur réactivité lors de l'adaptation à de nouvelles conditions d'environnement
- une modification transitoire des réflexes conditionnés
- une modification des réponses hormonales et physiologiques semblable à celle du stress faible : ACTH, corticostérone...

2-3 Action sur le système endocrinien

Il semble que l'exposition d'animaux à des C.E.M. puisse entraîner des modifications transitoires de l'activité hormonale, celles-ci dépendant des paramètres d'exposition (effet fenêtre), mais en aucun cas une pathologie clinique n'a pu être mise en évidence.

Certains résultats suggèrent que la thyroïde ou les surrénales ne sont pas directement stimulées par les C.E.M. et qu'il s'agit plutôt d'une réponse globale de l'axe hypothalamo-hypophyso-glandulaire.

2-4 Action sur la réponse immunitaire

De nombreux auteurs ont montré une action des C.E.M. sur le système immunitaire : augmentation de l'index mitotique et de la transformation lymphoblastique spontanée ou après induction par un mitogène, accroissement du taux d'anticorps induits..., alors que d'autres n'ont pas retrouvé ces actions. Compte tenu qu'aucune expérimentation n'a été faite dans les mêmes conditions techniques, il n'est pas possible actuellement de décrire une réponse systématisée du système immunitaire aux C.E.M. Il semble en particulier que l'effet fenêtre intervienne, ce qui complique l'analyse des résultats.

2-5 Action sur le système hématopoiétique

Il en est de même en ce qui concerne la réponse du système hématopoiétique à l'action des radio fréquences. Certains auteurs ayant exposé des petits mammifères à des débits d'absorption spécifique (S.A.R) entraînant un léger effet thermique (augmentation de la température rectale 1 à 3°) observent dans le sang circulant des modifications hématologiques variables suivant les expériences et qui, de toute façon peuvent être rapportées aux perturbations de l'équilibre thermique des animaux. Pour des expositions plus faibles, athermogènes, beaucoup constatent l'absence de toute réaction hématologique. Seuls quelques chercheurs ont retrouvé des anomalies de la structure nucléaire des cellules blastiques, ou une diminution de l'incorporation du ⁵⁹Fe au niveau des érythroblastes, mais ces résultats n'ont pas été confirmés.

Au total, il est difficile de se faire une idée exacte de l'action de l'exposition aux radiofréquences sur le système hématopoiétique.

2-6 Caractéristiques des effets "spécifiques" des C.E.M.

L'ensemble des effets obtenus après exposition d'animaux à de faibles densités de puissance paraît suivre les règles suivantes.

- généralement il s'agit d'effets fonctionnels et le plus souvent transitoires
- il semblerait s'agir de modifications de la cinétique des phénomènes plutôt que du déclenchement de ceux-ci

- enfin, nombre des effets ne surviennent que dans une "fenêtre" d'efficacité, variable pour chaque paramètre en fonction des autres paramètres.

Cet effet n'est pas nouveau en biologie puisque la vision qui ne survient qu'entre 4,1 et $7,5 \cdot 10^{14}$ Hz et pour une certaine fenêtre d'éclairement énergétique en est un exemple journalier.

Bawin en 1973 montra la dépendance fréquentielle et de puissance des modifications de l'EEG chez le chat soumis à des C.E.M. Bien que ce travail soit critiquable, il est difficile d'imaginer qu'un artefact lié aux électrodes puisse favoriser une certaine fréquence et une certaine puissance. D'ailleurs ces résultats semblent corroborer par la dépendance fréquentielle du flux calcique étudié dans le tissu cérébral de poulet soumis à des C.E.M.

Le flux calcique est augmenté pour une modulation de 16 Hz alors que les modulations plus élevées ou moins élevées sont inefficaces. Cet effet a été retrouvé pour plusieurs fréquences porteuses (50, 147, 450 MHz) et sur le tissu cérébral de chat. Etant donné le rôle capital joué par le calcium au niveau des réactions enzymatiques, de la physiologie membranaire et du SNC, de nombreuses recherches ont été effectuées dont il résulte que :

- la réponse biologique semble due à la fréquence de modulation et non à la fréquence porteuse
- le Ca^{++} membranaire est vraisemblablement la cible des C.E.M.

- les mécanismes affectant les modifications de flux calcique dans le cerveau ne peuvent être expliqués par les théories classiques biochimiques. Plusieurs suggestions concernant de nouveaux mécanismes ont été proposées et sont en cours de vérification.

Il faut noter que l'existence de cet effet fenêtre remet en cause, du moins en partie, le concept de seuil d'activité et donc de sécurité établi à partir des SAR ou de l'intensité de champ.

Conclusion

Nous voyons donc que l'étude des effets biologiques des R.F., qu'ils soient liés à de fortes ou à des faibles absorptions énergétiques, est extrêmement complexe.

Dans le domaine de la dosimétrie, le problème de la répartition intra-tissulaire de l'absorption énergétique n'est pas encore résolu et doit l'être si nous voulons comprendre les phénomènes biologiques provoqués par l'exposition aux R.F.

Quant aux effets eux mêmes, seule la multiplication des recherches, d'exposition et de mesure adapté, permettra de préciser l'action biologique des R.F. et les paramètres qui les régissent.

3 Les Effets Sur L'homme

3-1 Pathologie rencontrée

3-1-1 Exposition aiguë

Si l'homme est accidentellement exposé à des fortes densités de puissance, surtout lorsque celles-ci sont focalisées, on peut voir survenir des brûlures superficielles ou profondes. Cependant la douleur provoquée par leur apparition entraîne le plus souvent un réflexe de défense de l'organisme, avec retrait de la partie exposée du corps hors du champs nocif. Le traitement des lésions et de leurs conséquences immédiates est variable en fonction de l'importance de l'hyperthermie, de sa durée et de sa localisation corporelle.

Lorsque l'énergie n'est pas focalisée, on ne retrouve que les effets physiologiques liés à l'hyperthermie locorégionale. La gravité dépend alors uniquement de la région du corps exposée et il est bien évident que la tête est plus sensible que les extrémités des membres.

3-1-2 Expositions répétées ou chronique

Enfin en cas d'expositions répétées, et/ou prolongées à des densités de puissance modérées, c'est-à-dire supportables par l'homme, on est en présence d'un poste de travail à charge thermique élevée auquel cependant semble se surajouter l'action propre des radio-fréquences que nous allons maintenant envisager.

Si on effectue la synthèse de toutes les observations cliniques effectuées chez l'homme, il est possible de se faire une certaine idée des troubles provoqués par les radio-fréquences. C'est le système neuro-végétatif qui semble le plus sensible aux C.E.M.

Aussi doit-on rechercher chez le personnel soumis à ces rayonnements :

- une asthénie physique, musculaire surtout aux membres inférieurs, avec parfois des myalgies.

5.

- une asthénie psychique avec difficulté récente d'idéation, perte de la mémoire, apathie contrastant souvent avec la survenue d'une irritabilité anormale et de réactions caractérielles. Il est à signaler à ce propos que l'on relève souvent, immédiatement après l'exposition, une période primaire et transitoire d'euphorie et de sensation d'être en "pleine forme"

- des troubles des cycles nyctéméraux et du sommeil (insomnie)
- des céphalées le plus souvent pulsatiles.
- une sensation ébrieuse, des vertiges, voire de véritables lipothymies pouvant être parfois associées à des nausées.
- des troubles de la thermo-régulation à titre de poussées fébriles le plus souvent modérées, mais inexplicables avec parfois frissons et crises sudorales
- des sensations dysesthésiques des extrémités.
- enfin anorexie et amaigrissement peuvent être notés.

L'examen clinique est le plus souvent négatif, tout au plus peut-on noter une tachycardie dont on ne peut assurer qu'elle ne soit pas due à l'anxiété, ou à l'angoisse que présente souvent ces patients.

L'ensemble de ces signes n'étant pas pathognomoniques et pouvant être déclenchés par bien d'autres causes, le problème réside en fait à en relier l'apparition à l'exposition professionnelle du sujet, objectif souvent très difficile à atteindre. Seul un interrogatoire minutieux, voire pointilleux, associé à une enquête sociale, familiale et professionnelle permet d'affirmer ou d'infirmer la corrélation.

Le système neuro-endocrinien réagit aux R.F. Dans certaines observations cette atteinte est confirmée par une modification des taux sanguins de certaines hormones.

Cependant comme précédemment, le problème réside dans l'établissement de la relation "cause-effet", d'autant que l'on commence à connaître assez bien les inter-relations existant entre la régulation neuro-endocrinienne et les perturbations psychiques.

Il n'en reste pas moins que lorsque des désordres endocriniens apparaissent chez un sujet exposé aux C.E.M., il est nécessaire de les explorer complètement et d'en rechercher son étiologie.

A la limite, le test du retrait temporaire du sujet de son poste de travail peut être envisagé.

Quant au *système immunitaire*, très étudié sur le plan expérimental, il ne semble pas, à notre connaissance, qu'il ait donné lieu à des troubles cliniquement décelables.

Enfin, il faut se rappeler que jusqu'à présent, tous les signes cliniques ou para-cliniques observés, même les plus importants, ont toujours été régressifs et qu'il suffit de soustraire le sujet de l'action des C.E.M. pour obtenir à plus ou moins long terme une normalisation complète du patient avec restitution ad intégram de toutes ses fonctions.

CENTRE HOSPITALIER UNIVERSITAIRE DE NIMES CAREMEAU -
du Pr. Robert Debré - BP 26 - 30029 NIMES CEDEX - TEL 66 27 41 11 - FAX 66 02 71 05

Laboratoire Universitaire de Biophysique Médicale
Service de Biophysique Médicale
Chef de Service : Professeur Luis MIRO
tel 66 27 32 44

DONNÉES ÉPIDÉMIOLOGIQUES

concernant

Les Effets des Champs Electriques, Magnétiques et Electromagnétiques

Pr L.MIRO

Si de nombreuses études biologiques ont été menées sur l'action des Champs électriques et magnétiques de basse fréquence, et plus particulièrement de 50-60 Hz, sur la matière vivante, en revanche leur impact sanitaire sur les populations n'a été que très peu étudié.

Entre 1960 et 1970, les Soviétiques avaient décrit un syndrome clinique en relation avec l'exposition aux Champs Electromagnétiques (CEM). Il se composait de céphalées, d'asthénie, de troubles du sommeil, du caractère à type d'irritabilité contrastant avec une certaine apathie, d'une baisse de la libido et de perturbations digestives et cardiovasculaires.

Compte tenu de la nature subjective et non spécifique de ces symptômes, leur relation avec l'exposition aux CEM a toujours été très difficile à déterminer, ce qui a entraîné un certain doute sur leur existence propre.

Depuis, quelques études ont été entreprises sur des volontaires sains dont certaines ont retrouvé la diminution nocturne de la production de mélatonine et d'autres non. De toutes façons il n'a jamais été retrouvé de syndrome clinique apparent, ce qui pose le problème de la signification en terme de Santé Publique, des modifications biologiques observées.

Aussi, corrélativement aux études cliniques et expérimentales, des enquêtes épidémiologiques, effectuées aussi bien dans le domaine domestique que professionnel, ont tenté d'établir un lien entre l'exposition aux CEM de basse fréquence ou E.L.F et la survenue de certaines pathologies, principalement les cancers et les leucémies.

1 - Les données épidémiologiques

1-1 Les cancers et leucémies

La première étude publiée fut celle de Wertheimer et Leeper qui montrait que les enfants décédés d'un cancer dans le Colorado avaient vécu plus fréquemment que les témoins dans des maisons où la configuration des cables électriques suggérait une exposition plus importante aux C.E.M.

A la suite de celle-ci, de nombreuses études furent menées dans le secteur professionnel en s'intéressant à divers types de cancers et de leucémies. Parmi les enquêtes les plus sérieuses citons :

**en ce qui concerne les leucémies*

- en 1982 Milham et Coll. analysent 486 000 adultes décédés, en fonction de leur exposition professionnelle aux C.E.M de 60 Hz et de la survenue d'un cancer ou d'une leucémie. Ils mettent en évidence une augmentation significative du nombre de leucémies aiguës et de lymphomes chez les personnes exposées. En 1988, ces mêmes auteurs étudient la mortalité par cancers lymphoïdes ou hématopoïétiques chez 2 485 opérateurs radio. Seule la mortalité par leucémie myéloïde est trouvée augmentée.

- en 1990, Garland et Coll. montrent que les électriciens de l'US Navy ont un risque 2 fois et demi plus important que les autres personnels de la Marine de développer une leucémie.

- en 1991 est publiée une étude cas/témoins réalisée de 1970 à 1989 par EDF, HYDRO QUEBEC et ONTARIO HYDRO portant sur 224 000 employés de ces compagnies d'électricité. Une estimation de l'exposition a été réalisée par dosimétrie individuelle permettant, grâce à des matrices exposition/emploi, de tenir compte de l'exposition passée. Seul est retrouvé un risque accru de leucémie aigüe myéloïde, encore est-il nécessaire de noter qu'il n'y a pas de cohérence entre les 3 entreprises et qu'on ne peut mettre en évidence de relation effet/dose. Pour les 29 autres types de cancers étudiés les résultats sont négatifs, sauf peut-être en ce qui concerne les astrocytomes où l'association n'atteint pas le degré de significativité souhaitable du fait du petit nombre de cas.

- en 1992 Floderus et Coll. montrent, à partir d'une étude cas/témoins, une association statistiquement significative entre la survenue de leucémies lymphoïdes chroniques et l'exposition aux C.E.M. avec existence d'une relation dose/effet. En revanche aucune corrélation n'est retrouvée avec la leucémie myéloïde aigüe.

- en 1994 une étude cas/témoins réalisée à Los Angeles sur 2 355 leucémiques confirme un accroissement significatif du risque leucémique, fonction de l'intensité moyenne d'exposition.

**en ce qui concerne les tumeurs du cerveau*

- en 1985 Lin et Coll. évaluent le lien pouvant exister entre l'exposition professionnelle et la survenue d'un cancer du cerveau chez 951 personnes. Lorsque le poste de travail entraîne une exposition élevée au C.E.M. de 60 Hz, le risque de tumeur du cerveau semble 2,15 fois plus élevé.

- en 1987, Thomas et Coll. effectuent une étude cas/témoins chez 435 ouvriers morts d'un cancer du cerveau ou d'un autre type de cancer. Ils notent une légère augmentation du risque de cancer du cerveau chez les électriciens et les électroniciens, ce risque étant d'autant plus important que le temps d'exposition a été prolongé.

- en 1988, Speers et Coll. rapportent également une augmentation du risque de cancer du cerveau chez les électriciens et les électroniciens à partir d'une étude cas/témoins de 389 travailleurs morts d'un gliome.

- en 1991 Mack et Preston Martin reprenant le travail de Thomas dans une étude cas/témoins de 272 tumeurs du cerveau montrent que le risque de développer un

astrocytome augmente avec la durée de l'exposition aux ELF de 60 Hz surtout si celle-ci dure plus de 10 ans.

En revanche, la même équipe ne retrouve pas d'association entre des postes de travail exposant aux CEM et une augmentation du risque pour les gliomes et les méningiomes, alors qu'une association est retrouvée avec des facteurs confondants (fumées, produits pétroliers...) existant au niveau de ces postes.

- en 1992 Floderus et Coll. décrivent à partir d'une étude cas/témoins, une association statistiquement significative entre la survenue de cancers du cerveau et l'exposition aux CEM

- en 1993 Sahl et coll. étudiant 36 000 travailleurs d'une compagnie d'électricité ne retrouvent aucun excès de tumeurs du cerveau ni de leucémies.

- en 1994 Tynes et coll. en Norvège parviennent aux mêmes conclusions après une étude de 5 088 travailleurs de la compagnie d'électricité norvégienne. En revanche après 30 ans d'ancienneté ils notent un accroissement du nombre de cancers de l'estomac et des mélanomes malins.

- en 1995 Savitz et Loomis comparant les travailleurs des compagnies d'électricité américaines à une population de référence, ne décèlent aucune différence quant au nombre de leucémies ou de cancers. Cette étude prend en compte les facteurs confondants et est effectuée sur une cohorte importante. En revanche chez les travailleurs exposés le risque de cancer du cerveau augmente de 22 % si l'on compare les sujets très exposés à ceux qui le sont peu.

**en ce qui concerne les cancers du sein*

- en 1991, Tynes et Andersen étudiant une cohorte de 37 952 électriciens suggèrent que les hommes exposés aux C.E.M. de 50 Hz pendant leur travail, développent 2 fois plus de cancers du sein que les autres travailleurs. Ce résultat est confirmé par une étude de Matanoski et Breysse sur une cohorte de 50 582 électriciens.

- en 1994 Loomis et Coll. étudiant la survenue de cancers du sein chez des femmes exposées aux CEM ne retrouvent pas de corrélation pour les femmes pré ou post-ménopausées, en revanche ils notent un accroissement de survenue du cancer de 2,17 dans le groupe des femmes en périménopause.

**autres types de cancers*

A côté de ces trois types de cancers les plus fréquemment étudiés, quelques enquêtes font état d'un risque accru pour d'autres types, nous citerons :

- en 1983 et 1985, Vaguero et Coll. étudient une cohorte rétrospective de travailleurs de l'industrie électrique, électronique et des télécommunications. Ils mettent en évidence une légère augmentation du risque cancérigène en comparaison avec le public, portant principalement sur des cancers du poumon pour le premier groupe et le mélanome pour le second.

- en 1994 Tynes et Coll., à partir d'une étude en cohorte portant sur plus de 5 000 employés d'une compagnie électrique norvégienne, trouvent une augmentation des cancers de l'estomac et des mélanomes malins après 30 ans d'ancienneté sur un poste exposé aux C.E.M. En revanche aucune association n'est retrouvée pour les leucémies ou les tumeurs du cerveau.

**Expositions à la fréquence de 16 2/3 Hz*

L'alimentation électrique des chemins de fer se faisant, dans certains pays, avec une fréquence de 16 2/3 Hz, des études épidémiologiques spécifiques ont été pratiquées sur les employés des compagnies concernées.

- en 1990 Balli-Antunes et Coll. mettent en évidence un excès du risque leucémique uniquement sur un groupe de conducteurs de trains ayant travaillé de 1969 à 1983.

- en 1994 Floderus et Coll. retrouvent cet excès du risque de survenue de leucémies, mais aussi de cancers du sein et de tumeurs de l'hypophyse uniquement chez les conducteurs de trains ayant travaillé entre 1961 et 1971.

- En revanche en 1994 Tynes et Coll. à partir d'une cohorte de 13 000 cheminots ne trouvent aucune relation entre l'exposition aux CEM et l'existence d'un excès de leucémies ou de tumeurs du cerveau.

1-2 Exposition aux ELF et grossesse

Un certain nombre d'enquêtes épidémiologiques ont été pratiquées pour apprécier l'éventuelle influence de l'exposition aux C.E.M. des femmes en âge de procréer et des femmes enceintes sur la grossesse. Il s'agit exclusivement d'études portant sur le travail sur écrans de visualisation, c'est-à-dire associant des champs de 50 Hz et de 15 à 18 KHz

Une meta analyse réalisée en 1993 par Parazzini et Coll. sur 9 de ces enquêtes n'a montré aucun effet de l'exposition ni sur le risque d'avortement, ni sur le poids de naissance du nouveau né, ni sur le taux de malformations congénitales.

De très nombreuses enquêtes ont aussi été effectuées dans le domaine domestique. Leur résultat est globalement aussi diversifié voire contradictoire que ceux que nous venons de passer en revue. Aussi ne nous semble-t-il pas utile d'en faire une analyse détaillée.

2 - Comment interpréter les résultats de ces enquêtes ?

Comme on peut le constater il est très difficile de résumer l'ensemble des enquêtes portant sur la relation "Exposition aux C.E.M. / cancer" car chaque enquête apporte son résultat qui ne correspond aux résultats d'aucune autre.

Cependant en 1992 Aldrich et Coll. réalisent une meta analyse à partir de 13 enquêtes qui montrent un excès de risque global pour la leucémie aigüe de l'ordre de 1,2 à 1,3 et du cancer du cerveau de l'ordre de 2,4 à 2,7. En revanche ils ne peuvent mettre en évidence de relation dose/effet.

Afin d'expliquer cette diversité des résultats, des études méthodologiques relatives aux enquêtes ont été effectuées et ont révélé l'existence de nombreux problèmes :

- Les différentes études ne peuvent être comparées, car les valeurs seuil d'exposition diffèrent avec l'étude de telle sorte qu'avec les mêmes données le risque surajouté varie parallèlement à la variation du seuil d'exposition.

- De nombreuses études n'ont pas mesuré le niveau d'exposition aux champs électriques et magnétiques, utilisant à la place des estimations calculées.

En ce qui concerne les études domestiques, l'estimation est basée sur l'étude de la distribution des lignes électriques autour et à l'intérieur des maisons, de la position du transformateur, de l'existence du réseau de terre et des divers appareils électroménagers. Lorsque les mesures ont été effectuées, elles ont été limitées dans le temps et dans l'espace et ne peuvent, par conséquent, représenter l'exposition réelle d'un sujet pendant une longue période de temps.

- Dans le cadre des études professionnelles, l'exposition aux C.E.M. est relativement élevée dans certains métiers. Cependant très souvent les informations concernant la véritable exposition sont très imparfaites et introduisent la possibilité d'une mauvaise classification des individus et d'autres biais statistiques.

Lorsque des mesures dosimétriques ont été effectuées pour établir le taux d'exposition d'un poste de travail, ces mesures ne sont valables que dans les circonstances et avec les