

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 74 (1983)

Heft: 2

Artikel: Effets des champs électromagnétiques en relation avec la production et la distribution de l'électricité

Autor: Bonnel, J.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-904744>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 26.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Un deuxième point, qui est peut être caractéristique des sources d'énergie de la troisième catégorie par rapport aux énergies traditionnelles, est la capacité des installations de production qui leur sont associées. Cette capacité peut aller de quelques kilowatts à plusieurs dizaines de mégawatts. Il faut également souligner le fait qu'à l'heure actuelle on s'intéresse tout particulièrement au développement des très petites unités (d'une capacité comprise entre quelques kilowatts et quelques

dizaines de kilowatts) car certains experts considèrent que les installations de cette taille, conçues pour satisfaire des besoins spécifiques, seront les premières à être concurrentielles. Un développement futur de ces petites unités dispersées, et le caractère extrêmement variable de la production de ces centrales, poseraient manifestement des problèmes différents d'exploitation et de protection des réseaux, au niveau de la distribution, du transport et de la production.

Par ailleurs, il faut noter que ces petites unités raccordées au réseau de distribution peuvent être exploitées non pas par un service électrique mais par un consommateur individuel. Dans ce cas, s'ajoutent aux problèmes techniques, les problèmes de tarification et de contrat car le consommateur demandera à l'entreprise d'électricité, de lui assurer une fourniture d'appoint et pourra également lui demander de lui acheter son excédent de production.

Effets des champs électromagnétiques en relation avec la production et la distribution de l'électricité

Rapport du Groupe d'études médicales

Malgré les conclusions rassurantes de nombreuses études, le doute subsiste dans certains milieux que le courant ou les charges induites par des champs électriques intenses, même s'ils sont imperceptibles, peuvent avoir une influence néfaste sur la santé des personnes exposées. Le rapport présente une analyse critique des nombreux travaux réalisés (études d'exposition humaine, enquêtes de santé des travailleurs exposés, études de laboratoires sur des volontaires, études épidémiologiques, expérimentation animale) permettant de définir la méthodologie que de nouvelles études devraient respecter pour être crédibles.

Trotz der beruhigenden Schlussfolgerungen zahlreicher Studien besteht die Befürchtung, dass von starken elektrischen Feldern induzierte Ströme oder Ladungen, auch wenn sie nicht wahrnehmbar sind, die Gesundheit der ihnen ausgesetzten Personen beeinträchtigen können. Der Bericht enthält eine kritische Analyse der zahlreichen bisherigen Arbeiten (Untersuchungen der menschlichen Gefährdung, Reihenuntersuchungen von exponierten Arbeitern, Laboruntersuchungen an Freiwilligen, epidemiologische Untersuchungen, Tierversuche) und ermöglicht die Festlegung der für weitere Studien notwendigen Methodik.

Rapport établi par
J. Bonnel, Dr med., Central Electricity Generating Board,
Sudbury House, 15 Newgate Street, GB-London
EC1A 7AU.

1. Introduction

Le transport d'énergie électrique par des lignes électriques aériennes de courant alternatif haute tension est bien établi. De même certains problèmes qui y sont associés, notamment bruit, brouillage de la transmission radio et télévision et danger de courts-circuits sont bien maîtrisés. Des rapports concernant l'apparition de symptômes subjectifs tels que céphalées, lassitude, nausées et perte de libido chez des travailleurs de sous-stations en *Union des Républiques Socialistes Soviétiques* (URSS) ont été publiés en 1966 [1]. Ces rapports ont été suivis par d'autres publiés entre 1967 et 1972 en URSS [20; 34]. On a laissé entendre que ces symptômes étaient dus à l'exposition pendant le travail à des champs électriques intenses dans des sous-stations de 500 kV et 765 kV. Dans quelques-uns des rapports soviétiques, on a laissé entendre que les travailleurs avaient subi fréquemment de légers chocs et que ceux-ci étaient la cause de ces symptômes.

Malgré le contenu rassurant des rapports publiés par les chercheurs d'Europe occidentale et d'Amérique du Nord [21; 27; 37], un doute subsiste dans certains milieux que les courants ou les charges induites par des champs électriques intenses, même s'ils sont imperceptibles, peuvent détériorer la santé des personnes exposées.

Dans ce rapport, il sera question des travaux publiés précédemment sur le sujet en insistant en particulier sur les aspects qui se rapportent essentiellement aux études sur l'homme, tout en donnant une indication sur le travail futur dans les pays membres.

Michaelson [27], dans une analyse critique des rapports établis dans le domaine des réactions de l'homme aux expositions à la fréquence d'alimentation, a énuméré les déclarations faites au sujet des effets des champs haute tension sur la santé, à savoir:

- a) que les informations disponibles n'étaient pas suffisantes pour porter un jugement,
- b) que les champs électriques provoquent «probablement» des effets biologiques et agissent comme des agents stressants,
- c) que de légers effets de champs électriques ont été rapportés, et
- d) que des chercheurs soviétiques avaient fait état de symptômes subjectifs chez des personnes travaillant dans des sous-stations haute tension.

Afin d'étudier certains de ces effets possibles, de nombreuses expériences sur les animaux, de grande envergure et coûteuses, ont été entreprises aux *Etats-Unis d'Amérique*, en *France* et en *Italie*. Etant donné que l'une des difficultés liées à toutes les expérimentations animales est l'interprétation des

résultats en relation avec l'exposition humaine, plusieurs études sur l'homme ont également été entreprises ou se trouvent à un stade avancé de planification.

En raison de la large utilisation de l'électricité dans l'environnement domestique et industriel moderne, tous les rapports tendant à démontrer que les champs électriques créés par les lignes d'alimentation provoquent un état pathologique ou l'aggravent, doivent être sérieusement pris en considération ou évalués de façon critique. Deux rapports récents méritent l'attention pour cette raison: celui de Wertheimer et Leeper [40] dans lequel on laissait entendre que l'exposition à des champs électromagnétiques, évalués d'après la concentration du courant électrique, aurait un rapport avec l'augmentation du cancer chez l'enfant. Le deuxième rapport de Perry et al. [31] prétendait démontrer l'existence d'une association entre les lignes haute tension et une incidence accrue de suicides.

En plus de ces rapports, des études sont en cours en Suède en vue de déterminer si des champs électriques peuvent provoquer *in vivo* ou *in vitro* des aberrations chromosomiques chez des personnes exposées ou leur descendance. On s'interroge sur la raison d'être d'une telle étude et le plan de l'étude lui-même sera discuté.

2. Etudes d'expositions humaines

Etant donné que la préoccupation majeure est l'effet possible sur l'homme, le Groupe d'Etudes Médicales de l'UNIPED est d'avis que les études sur l'homme doivent fournir la principale source de recherches et d'informations.

C'est l'étude concernant les symptômes subjectifs ressentis par les travailleurs des sous-stations en URSS, publiée au milieu des années 60 qui a déclenché dans le monde entier l'intérêt pour les effets de champs haute tension. Ces symptômes subjectifs n'étaient pas spécifiques et comprenaient des céphalées, de la fatigue et des troubles gastro-intestinaux généraux [1]. Ces auteurs affirment qu'ils ont acquis la certitude que des modifications du système cardiovasculaire se rencontraient plus fréquemment et étaient plus marquées chez les personnes subissant systématiquement l'action de champs électriques (p.ex., personnel d'entretien), que chez celles

exposées de temps en temps (p.ex., préposés aux signaux, surveillants des sous-stations). Aucune de ces affirmations n'était étayée par des données quantitatives. Il n'y a pas de compte rendu détaillé de la fréquence des troubles en fonction de la durée du travail dans les champs électriques; il n'y a pas non plus de discussion concernant la fréquence de symptômes semblables chez des travailleurs non exposés. Aucune base objective n'est donnée pour affirmer que les troubles observés étaient liés d'une façon quelconque aux champs électriques [27].

D'autres travaux décrivant des constatations positives faites chez des hommes exposés professionnellement à des champs électriques ont été publiés par un certain nombre d'auteurs soviétiques depuis cette époque [10, 20, 34]. Ils tendaient à confirmer les résultats d'Azanova et de Rakov et ont signalé une perte de libido en plus des symptômes non spécifiques pouvant être rattachés aux systèmes nerveux, cardiovasculaire et digestif. Ils ont décrit également diverses modifications mineures touchant la tension artérielle et le rythme cardiaque. Enfin, quelques modifications des numérations du sang périphérique ont été notées et attribuées à l'action des champs électriques. Il s'agissait d'une légère leucocytose touchant essentiellement les granulocytes et d'une réticulocytose, mais ces modifications sont minimales et se situent dans les limites normales de dispersion physiologique.

Le fait que ces troubles ont été trouvés principalement chez des sujets qui avaient été exposés pendant de longues périodes à des champs intenses a conduit les auteurs soviétiques à avancer l'idée d'un effet seuil. A la suite d'une étude avec des volontaires exposés à des champs de 0-30 kV/m, Filipov (1972) a rapporté que les modifications hématologiques se sont produites seulement avec des champs de plus de 5 kV/m. Il considérait cela comme étant le seuil au-dessus duquel il serait approprié de limiter soit la durée d'exposition soit les intensités des champs auxquels les sujets sont exposés.

Par ailleurs, Danilin, Voronin et Mordorskii [9] considéraient que ces symptômes peuvent avoir été provoqués par d'autres agents de l'environnement, suggérant qu'il pouvait s'agir de vapeurs de kérosène et d'essence fréquemment utilisés par les travailleurs des sous-stations en URSS. Savin, Shandala, Nikonova et Morozov [33] ont exprimé des réserves quant à la va-

lidité de certains des rapports soviétiques antérieurs au sujet d'effets défavorables des champs électriques. Ce point de vue a été repris par Bourgsdorf [3]; cet auteur ayant déclaré qu'une expérience opérationnelle avec des lignes de 750 kV a confirmé que les effets biologiques dangereux des champs électriques auxquels on s'attendait, avaient été surestimés.

Les recherches menées en Europe et aux Etats-Unis d'Amérique ont, pour la plupart, donné des résultats négatifs. La première était celle de Kouwenhoven et Singewald (1967-1973) qui ont observé dix monteurs de lignes pendant une période de neuf ans. Les courants corporels calculés chez ces hommes étaient parfois aussi élevés que ceux auxquels on peut s'attendre d'une exposition à des champs non perturbés atteignant 25 kV/m. Les examens médicaux ont été approfondis et aucune anomalie attribuable aux champs électriques n'a été trouvée, bien que le nombre de sujets ait été trop petit pour que des effets autres que les plus importants puissent ressortir. Il n'y avait pas de sujets témoins.

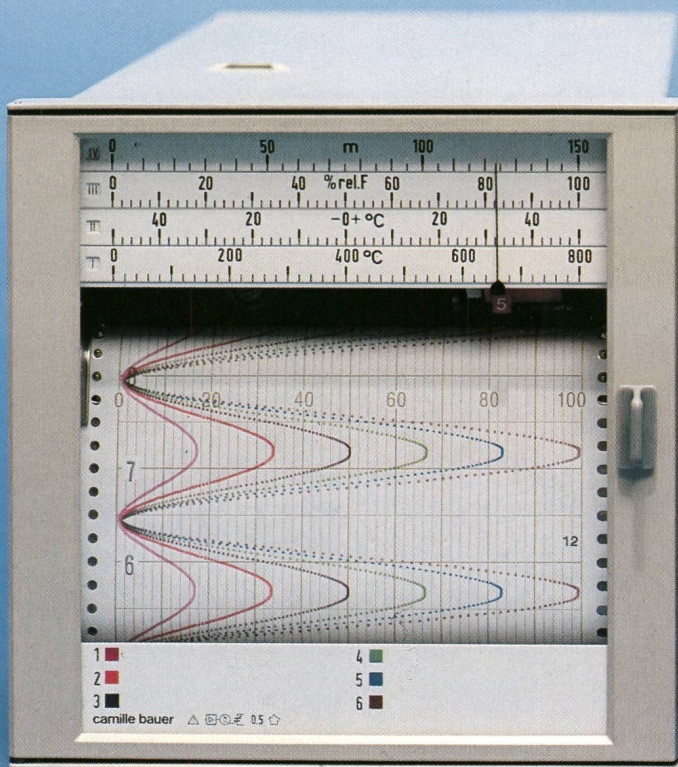
En Europe Occidentale, des symptômes apparemment associés à des champs électriques ont été mentionnés uniquement par Fole [11] et par Fole et Dutrus [12]. Ces auteurs ont décrit les observations faites sur trois travailleurs qui ont été transférés d'une sous-station de 200 kV dans une sous-station de 400 kV et qui se sont plaints de vertiges, de troubles visuels, de nausées et de lassitude. Dans le dernier article, six sujets ont été exposés à des champs de 15 kV/m pendant plusieurs heures, et deux sujets se sont plaints de perte de force «dans le corps» et des modifications de la tension artérielle et du rythme cardiaque ont été enregistrées. La brièveté de ces études, l'absence de témoins, l'incapacité de confirmer toute relation directe entre les symptômes observés et les champs électriques font penser que ces rapports sont d'une valeur douteuse.

Dans le cadre de recherches concernant des familles d'employés d'Electricité de France, Strumza (1970) a décrit une étude effectuée sur une période de quatre ans sur 70 hommes, 65 femmes et 132 enfants vivant dans un rayon de 25 m de lignes de 200 et 400 kV. Son groupe témoin était composé de 74 hommes, 64 femmes et 120 enfants vivant à plus de 125 mètres des lignes. Il n'a découvert aucune différence sur la base des dossiers médicaux, de la fré-

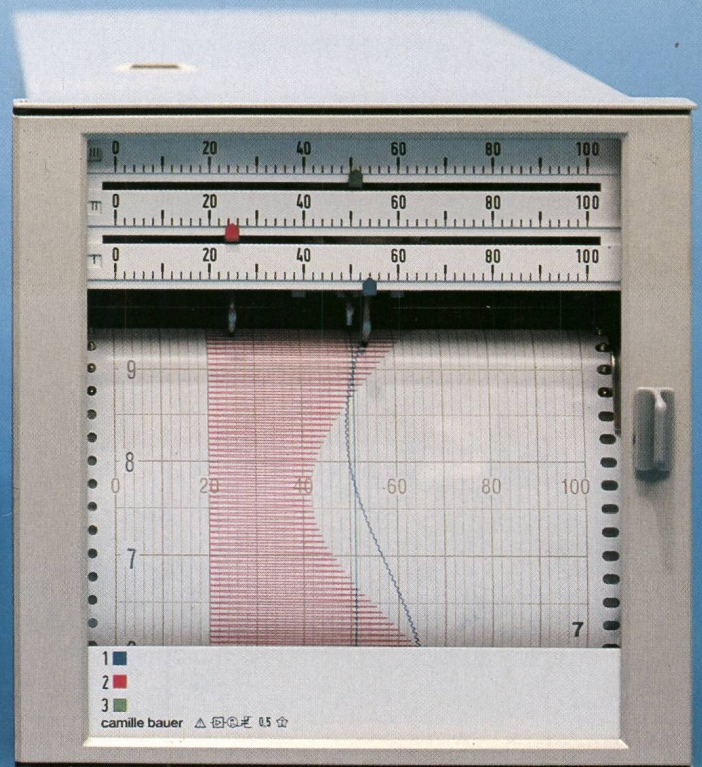
camille bauer

messinstrumente

Schreiber



Punktendrucker



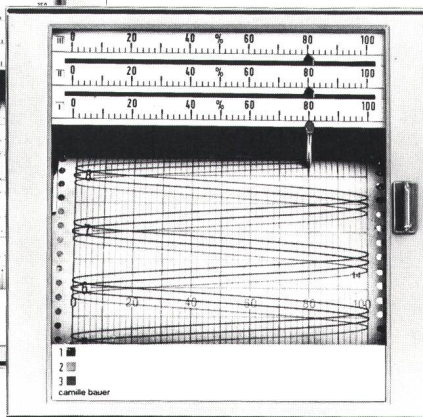
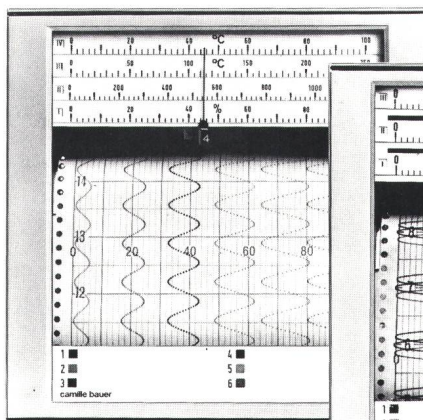
Linienschreiber

aus einem Guss

der Sechskanal-Kompensations-Punkt-drucker POINTAX 5K2

der Dreikanal-Kompensations-Linienschreiber LINAX 5K2

- Format 144 × 144 mm
- Klasse 0,5
- Kontaktlose, verschleissfreie Servosysteme machen die Geräte betriebs-sicher und dauerhaft
- Durch steckbare Vorschaltungen lassen sich die Schreiber an praktisch alle Messgrößen und Messbereiche anpassen
- Für die Aufzeichnung kann entweder Rollpapier oder Faltpapier verwendet werden
- Flexible Leiterbänder zwischen Geräteeinschub und Gehäuserückwand sorgen dafür, dass die



Schreiber im gezogenen Zustand voll funktionsfähig sind. Dieser Vorzug und die übersichtliche, modulare Bauweise verleihen den Geräten hohen Bedienungskomfort und erstaunliche Servicefreundlichkeit.

- **Hilfsenergie:**
Wechselspannung (50 oder 60 Hz) 24, 48, 110, 220 oder 240 V ~
Gleichspannung 24, 48 oder 60 V –
- **Elektrische Anschlüsse:**
Schraubklemmen oder Steckmesser

POINTAX 5K2 ¹	Typ	LINAX 5K2
6, 3, 2 oder 1 max. 4 verschiedene Messbereiche	Anzahl Mess-Kanäle	3, 2 oder 1
Gleichspannung ² 0... 2 mV bis 0... 40 V Gleichstrom 0... 10 µA bis 0... 10 A Wechselspannung 0... 50 mV bis 0... 40 V Wechselstrom 0... 200 µA bis 0... 10 A Widerstand ³ 0... 2,5 Ω bis 0... 5 kΩ	Messbereich-Grenzen	Gleichspannung ² 0... 2 mV bis 0... 650 V Gleichstrom 0... 10 µA bis 0... 10 A Wechselspannung 0... 50 mV bis 0... 650 V Wechselstrom 0... 200 µA bis 0... 10 A Widerstand ³ 0... 2,5 Ω bis 0... 5 kΩ
5, 10, 20, 40, 60 oder 120 mm/h umschaltbar	Vorschub des Diagrammstreifens	5, 10, 20, 40, 60 oder 120 mm/h umschaltbar, zudem alle Werte × 60
2, 5, 10, 20, 60 oder 120 s/Punkt umschaltbar	Punktfolge	entfällt
1, 2, 3 oder 4	Anzahl Grenzwertmelder (mit je 2 Relais)	1, 2 oder 3

¹ Auch in Zündschutzart [EEx ib] IIC lieferbar (Mess-Signale aus Zone 1)

² In Verbindung mit Thermoelementen: 0... 40 bis 0... 1750°C

³ In Verbindung mit Widerstandsthermometern: 0... 10 bis 0... 550°C.

**Für weitere Informationen wenden Sie sich
bitte direkt an die unten stehende Anschrift!**

**camille
bauer**

Camille Bauer Mess- und Regeltechnik AG

4008 Basel
8004 Zürich
3000 Bern 14
1006 Lausanne

Margarethenstrasse 75/77
Schöntalstrasse 10
Schwarztorstrasse 59
3, chemin du Cap

061 22 95 35
01 241 65 00
031 25 61 56
021 28 42 35

quence des visites aux médecins de famille ou les dépenses pour les prescriptions médicales.

3. Enquêtes sur la santé dans les conditions de travail

Quatre enquêtes importantes sur la santé (études épidémiologiques) de personnes exposées professionnellement ont été entreprises au cours des cinq dernières années. *Malboysson* [23] a fait une étude sur un groupe de 84 travailleurs de sous-station et un groupe de 76 monteurs de lignes en Espagne et il les a comparés avec 94 monteurs de lignes travaillant sur des systèmes basse tension. Des questionnaires, des anamnèses médicales ont permis aux médecins d'établir sur une période de quatre ans, les antécédents médicaux de ces hommes qui ont aussi été soumis à des examens hématologiques, des examens de la rétine et à des tests biochimiques: glycémie, cholestérol, triglycérides, urée et acide urique du sérum. On a constaté moins d'absences pour maladie parmi les monteurs dans les deux groupes et, apparemment, le travail dans des champs électriques n'avait pas d'effets nuisibles sur l'homme. Des mesures de l'exposition n'ont toutefois pas été faites et les données n'ont pas été analysées statistiquement.

Roberge [32], au Canada, a examiné le cas de 56 ouvriers d'entretien travaillant dans des sous-stations de 735 kV à Québec, qui avaient été exposés parfois à des champs de 15 kV/m pendant une période de 4½ ans. Il n'y avait pas de témoins et les hommes qui étaient volontaires avaient été priés de remplir un questionnaire. On n'a pas noté d'effets importants sur la santé de ces travailleurs. Il faut remarquer, cependant, que les mesures de l'exposition étaient peu satisfaisantes, la durée n'était pas quantifiée et il n'y avait pas de groupes témoins pour évaluer les réponses au questionnaire. De plus, les hommes participant à l'étude étaient volontaires. Deux suggestions importantes sont ressorties de cette étude: premièrement, parmi les hommes participant à l'étude, 22 ont fait état d'anxiété et de peur des chocs électriques; deuxièmement, le rapport fils/fille était anormalement élevé, 17:3.

Une deuxième étude canadienne a été rapportée par *Stoppes* et *Janischewsky* [36], dans laquelle 30 hommes chargés de l'entretien de lignes haute tension dans l'Etat d'Ontario et 30 em-

ployés assortis quant à l'âge et le niveau d'éducation mais non exposés aux champs électriques ont été examinés de façon approfondie en milieu hospitalier. Les examens comprenaient un électroencéphalogramme (EEG), un électrocardiogramme (ECG), la détermination des paramètres biochimiques du sang, des épreuves fonctionnelles hépatiques, la détermination des électrolytes du sérum, une évaluation physique et psychologique complète avec des tests psychométriques et de personnalité. Au moment de l'examen, les sujets n'étaient pas identifiés comme étant exposés ou témoins. Le groupe exposé était composé de:

- a) 19 monteurs de lignes, avec une exposition calculée comme étant de 7 kV/m heures par jour – jusqu'à 8000 kV/m heures pendant dix ans, et
- b) 11 travailleurs de sous-stations avec une exposition moyenne calculée de 13 kV/m heures par jour – jusqu'à 36 000 kV/m heures pendant dix ans.

Il a été conclu, en se basant sur cette étude très approfondie et complète, que le travail dans des conditions de très haute tension ne provoque pas d'atteintes chroniques chez le personnel des sous-stations dans l'Ontario. Malgré cela, il faut remarquer que les hommes ayant participé à l'étude étaient tous des volontaires et représentaient un petit nombre de l'ensemble du personnel employé dans ces catégories, l'exposition exprimée en kV/m heures a été estimée et non mesurée, mais quelques contrôles au dosimètre ont été faits. On n'a pas recherché d'effets aigus.

Le quatrième rapport est celui de *Knave* [18] dans lequel 53 travailleurs de postes d'interconnexion en Suède ont été examinés par rapport à 53 employés travaillant sur des systèmes basse tension, assortis quant à l'âge, le lieu et la durée de service, mais non quant au niveau d'éducation. Les détails sur l'exposition sont incomplets car elle a été estimée et non mesurée. Les groupes exposé et témoin ont été examinés de façon approfondie: questionnaire, EEG, ECG, examen médical et hématologique et divers tests psychométriques. Il n'y avait pas de signes d'effets importants dus au travail dans les sous-stations de 400 kV. Il est intéressant de remarquer que les performances du personnel exposé étaient significativement meilleures que celles du groupe témoin, mais cela peut être

dû au niveau d'éducation supérieur du groupe exposé. Il a été noté, également, que le groupe exposé avait significativement moins de fils que de filles par comparaison avec le groupe témoin. Cette dernière constatation est l'inverse de celle décrite par *Roberge*. Ces constatations n'ont pas d'importance du point de vue épidémiologique et seront discutées plus loin.

Les études épidémiologiques européennes et américaines sont d'un niveau supérieur à celui des rapports soviétiques parce qu'elles donnent des informations détaillées sur tous les examens. Même ainsi, dans certaines études, les examens médicaux ne coïncidaient pas avec la période d'exposition, les groupes témoins n'étaient pas toujours bien assortis et l'intensité des champs et l'exposition étaient estimées et non mesurées. Malgré cela, les données prises dans leur ensemble suggèrent de façon absolue que les champs haute tension ne provoquent pas d'atteintes chroniques.

4. Etudes de laboratoire sur des volontaires

Les imperfections de certaines des études décrites plus haut soulignent l'importance des tests de laboratoire.

Les études de laboratoire ont l'avantage de conditions d'exposition beaucoup plus facilement contrôlées, bien que les expositions de longue durée présentent des problèmes sur le plan pratique. *Hauf* [15] a exposé des volontaires à des champs de 1 à 20 kV/m pendant des périodes allant de 45 minutes à 5 heures. Les expériences n'étaient pas réalisées en double-aveugle et il est possible que les sujets aient été susceptibles de percevoir les champs dans certains cas. Les principaux critères utilisés pour les comparaisons étaient les suivants:

- 1) tests psychomoteurs – temps de réaction,
- 2) mesure de la fréquence cardiaque, de la tension artérielle, ECG, et EEG,
- 3) numérations du sang périphérique (examens hématologiques de routine),
- 4) électrolytes du sérum et biochimie du sang.

Dans l'ensemble, ces études ont donné des résultats négatifs, à l'exception d'une légère stimulation, retardant et réduisant l'effet de fatigue aux temps de réaction. De légères modifications quant au nombre de leucocytes, de neutrophiles et de réticulo-

cytes ont été observées dans les constituants du sang; ces modifications étaient comparables à celles signalées par les auteurs soviétiques.

Afin de définir de façon plus précise ces légères modifications, *Hauf* et ses collaborateurs ont étudié les effets de très faibles courants, voisins des courants de déplacement qui, du point de vue physique, constituent le seul effet possible d'exposition à un champ électrique. Les résultats négatifs obtenus dans cette nouvelle série d'expériences ont convaincu *Hauf* que les effets observés lorsque des sujets sont exposés à un champ électrique sont les effets d'une stimulation non spécifique.

Le travail de *Hauf* et de son école est en accord avec des études suédoises réalisées plus tôt par *Johansson*, *Lundquist*, *Lundquist* et *Scuka* [16] qui ont trouvé que l'exposition aux champs électriques n'avait pas d'influence sur les performances dans les tests psychométriques. L'intensité du champ, mentionnée comme étant de 100 kV/m «au niveau de la tête», peut-être considérée comme indiquant une intensité de champ non perturbé de 5-10 kV/m.

Kalyada [17] a rapporté de légères modifications fonctionnelles réversibles après une exposition journalière de deux heures à 10 kV/m pendant une période de vingt jours. *Krivova* et al. [22] n'ont pas trouvé de modifications physiologiques à 10 kV/m mais ont identifié une certaine détérioration des capacités motrices après exposition pendant deux heures à 16 kV/m. Dans aucune de ces études soviétiques on ne faisait mention de perception. Cependant, les études soviétiques et japonaises sont d'accord sur le fait qu'il y a des modifications significatives (bien que transitoires) des capacités fonctionnelles chez les sujets soumis aux microchocs.

L'impression générale qui ressort est qu'il ne se produit pas d'effets avec des champs au-dessous de 10 kV/m, mais si des sujets sont exposés à des champs de 10 kV/m ou plus pendant quelques heures par jour, on peut parfois observer des modifications physiologiques transitoires. Même ainsi, il n'est en aucune façon démontré que la cause est le champ électrique en soi et non pas l'appréhension ou la perception. Il est très difficile dans des expériences de ce type de s'assurer que les sujets ne perçoivent pas la présence du champ électrique grâce à des indices purement extérieurs [39].

Dans une série d'expériences originales, *Cabanes* et *Gary* [6] ont effectué

en 1981 des tests de perception directe d'un champ électrique par des êtres humains dans le laboratoire haute tension d'*Electricité de France*. Par un arrangement de conducteurs horizontaux placés à une hauteur de neuf mètres au-dessus du sol, ils ont créé un champ électrique qui variait entre 27 kV/m directement sous les conducteurs et 0,3 kV/m en d'autres points sur le sol du laboratoire. 75 personnes se sont soumises volontairement à ces intensités de champs en des points précis et ont décrit leurs impressions et leurs sensations en ces différents points sans connaître l'intensité du champ en chacun de ces points. A partir de cette étude, il a été possible de construire des courbes de perception exprimée en pourcentages de l'échantillon de personnes ressentant quatre différents niveaux de sensation en fonction de l'intensité du champ. Cette étude a montré que la perception des champs électriques chez l'homme était fonction de la stimulation mécanique des poils qui était provoquée par les forces électrostatiques.

La sensibilité de perception de l'avant-bras nu dépendait de ce que l'avant-bras avait été rasé ou non. La suppression des poils réduisait considérablement la sensibilité de l'avant-bras. Les vibrations des poils sur l'avant-bras ont été enregistrées par des photographies à grande vitesse, des mouvements de 1 mm des poils ont été notés dans des champs de 50 kV/m.

Une série parallèle d'expériences sur les animaux a confirmé ces résultats. De nouveau, grâce à l'utilisation des photographies à grande vitesse, des vibrations atteignant 1 cm des moustaches de rats et de souris ont pu être visualisées, indiquant clairement l'extrême sensibilité des animaux à la présence de champs électriques.

5. Etudes épidémiologiques concernant des individus exposés en dehors des conditions de travail

Wertheimer et *Leeper* [40] ont soutenu l'existence d'une relation entre le cancer chez l'enfant et la résidence dans des maisons avec un flux de courant intense dû aux configurations de réseaux électriques externes, par exemple transformateurs, au voisinage de ces maisons, en comparaison avec un groupe témoin. La constatation était la plus marquée pour les enfants

qui avaient passé toute leur vie à la même adresse et il est apparu aux auteurs qu'il y avait une relation avec la dose. Cela ne semblait pas être un artefact du voisinage, de surpeuplement de la rue, de la classe sociale ni de la structure familiale. Ils ont émis l'hypothèse que la relation peut avoir été due aux effets du courant dans les conduites d'eau ou des champs magnétiques alternatifs.

Dans une critique de cette étude, publiée dans un numéro ultérieur du même périodique, *Miller* (1980) a estimé qu'une relation dose-réponse a été suggérée, mais qu'aucune dose, c'est-à-dire aucune intensité de champ magnétique, n'a été indiquée pour aucune des adresses. De plus, *Miller* apporte la preuve que le champ magnétique provenant d'appareils électriques dans la maison serait bien supérieur à toute contribution de configurations de réseaux électriques à l'extérieur de la maison. Une étude analogue a été réalisée en 1980 par *Fulton* et alii à *Rhodes Island*, qui n'ont trouvé aucun argument venant étayer l'hypothèse de *Wertheimer* et *Leeper*. D'autres points sont critiquables dans l'étude de *Wertheimer* et *Leeper*, et notamment le fait que les données n'ont pas été recueillies à l'aveugle, d'où un biais important au niveau des observateurs. En outre, les cas ont été vérifiés après la mort, c'est pourquoi on n'a pas tenu compte des cas de cancer encore en vie. Il est vital, dans des études de cas avec témoins correspondants de cette nature, de vérifier si les adresses de naissance et de décès ont été utilisées. Il semble, d'après l'article publié, que des adresses de naissance et de décès ont été utilisées, introduisant un autre biais important dans les données.

Une autre hypothèse récente a été celle de l'existence d'une relation entre l'exposition aux champs électromagnétiques et le suicide [31]. Le rapport manque de toute base biologique. Le suicide est un événement, non une maladie. C'est fréquemment un symptôme d'une maladie psychique préexistante et ce sont ces maladies qui doivent être étudiées et classées. L'article est contradictoire dans ses conclusions et il donne lieu à de sérieuses critiques pour son usage incorrect des techniques épidémiologiques.

6. Expérimentation animale

De nombreuses expériences ont été réalisées sur l'exposition des animaux aux champs électriques.

Les effets décrits comprenaient une consommation réduite d'eau chez les rats, une taille réduite de la descendance et une mortalité plus élevée chez les souris [24, 25], des modifications hématologiques chez les souris [2] et une consolidation plus lente des fractures chez les rats [26]. Dans toutes ces expériences, des microchocs se sont probablement produits. Des études sur des abeilles dans des ruches disposées sous des lignes aériennes [14] suggèrent que les insectes sont affectés seulement lorsqu'ils sont soumis à des microchocs lors de contact avec la structure de la ruche ou avec d'autres insectes.

Dans le travail le plus minutieux et le plus complet effectué jusqu'à présent - aux *Battelle Pacific Northwest Laboratories* (Phillips, 1979) - la plupart des effets physiologiques rapportés ailleurs ont été recherchés, mais n'ont pas été trouvés. Certains effets ont, cependant, été confirmés chez des rats et des souris exposés à des champs atteignant 100 kV/m - champs que les animaux pouvaient très probablement percevoir. Des rats auxquels on laissait le choix passaient plus de temps hors des champs de plus de 90 kV/m que dans ceux-ci et, lorsqu'ils s'y trouvaient, faisaient montre d'une plus grande activité. A des intensités de champs plus faibles (25 et 50 kV/m), les rats passaient la plus grande partie du temps dans la zone du champ.

Des rats, exposés depuis la conception jusqu'à huit jours après la naissance, présentaient de légères différences comportementales par rapport aux témoins soumis à une exposition simulée, bien que ces différences aient disparu 21 jours après la naissance. Les résultats d'une réponse à un test conditionné ont montré des modifications de l'excitabilité des ganglions sympathiques chez des rats exposés et il y avait également des modifications du nombre des globules rouges et blancs dans le sang des souris exposées.

Tous les effets observés, jusqu'à présent, dans le programme de Battelle sont légers et se trouvent dans les limites normales de variation pour les animaux concernés. Un aspect remarquable du travail récent est qu'au fur et à mesure que les techniques expérimentales se sont perfectionnées, le nombre d'effets observés a diminué.

De plus, une série complète d'expériences sur des rats, des lapins et des souris a été réalisée par le *Comité Médical d'Electricité de France*, en collaboration avec l'*Ecole Vétérinaire de*

Maisons-Alfort en vue d'étudier divers paramètres hématologiques et biochimiques après exposition à des champs contrôlés en laboratoire. Aucune anomalie significative n'a été constatée. On a mentionné, en un autre endroit, les études effectuées sur la perception directe des champs chez les animaux [6]. De même, des études sur les effets biologiques des champs électriques sur les souris, les rats, les lapins et les chiens ont été effectuées en *Italie* dans le cadre du projet de 1000 kV réalisé par *Ente Nazionale per l'Energia Elettrica* (ENEL). Ces études ont été effectuées par le *Département de Physiologie* de l'*Université de Milan* en collaboration avec l'ENEL [7]. Elles concernaient les paramètres cardiovasculaires, hématologiques et biochimiques. En outre, la croissance, la fertilité et les effets tératogènes ainsi que les modifications de la résistance à des infections induites ont été étudiées. Encore une fois, il n'a pas été constaté, jusqu'à présent, d'anomalies significatives, et le travail se poursuit.

Aucune expérience sur les animaux n'a encore fourni d'indications précises sur ce qui peut arriver aux êtres humains exposés à des champs électriques, l'une des difficultés étant que les champs électriques et les courants ne s'échelonnent pas de façon simple, ni en importance ni en distribution dans le corps, à cause des différences de taille, de forme et d'orientation. Des études épidémiologiques et des expériences avec des sujets humains sont apparemment essentielles s'il s'agit de résoudre, de façon satisfaisante, la question de savoir si, en fait, des effets subtils sur la santé humaine existent réellement.

7. Discussion

La question fondamentale, qui exige une réponse, est de savoir si des champs électriques alternatifs au voisinage des installations de transport exercent ou non un effet physiologique ou pathologique sur l'homme. Si c'est le cas:

- a) est-il dû au passage du courant dans le corps?
- b) est-il dû à un effet secondaire associé à des microchocs, à une stimulation des poils ou de la peau, ou à un effet psychologique dû à l'appréhension?
- c) y a-t-il un effet quelconque en l'absence de perception?

d) tout effet est-il nocif? Un effet chronique peut-il se développer en l'absence d'effets aigus?

Pour tenter de répondre à ces questions, on a utilisé jusqu'à présent trois approches principales:

- a) études épidémiologiques concernant des individus exposés à des champs électriques pour des motifs professionnels ou par suite de la situation de leur domicile,
- b) expériences de laboratoire sur des volontaires,
- c) expériences de laboratoire sur des animaux.

En faisant une évaluation critique des études rapportées dans la littérature, les points suivants doivent être pris en considération.

7.1 Groupes témoins

Dans toute étude d'exposition de groupes de population définis, il est nécessaire d'avoir des populations témoins adéquates. De façon idéale, les groupes témoins doivent être assortis sous tous les aspects avec le groupe exposé (sexe, âge, classe sociale, éducation, etc.), soumis au même traitement, à l'exception de l'exposition au champ électrique et étudiés avec les mêmes critères. Si une bonne comparabilité n'est pas possible, plusieurs groupes témoins doivent être utilisés afin que la variabilité introduite par les différentes conditions dans les différents groupes puisse être évaluée.

Dans les expériences de laboratoire sur des êtres humains, il est souvent pratique d'utiliser chaque individu comme son propre témoin en examinant sa réponse avec et sans exposition au champ. Dans cette situation le sujet ne doit pas pouvoir faire la distinction entre la présence ou l'absence du champ.

7.2 Exposition simulée et procédés en aveugle

Dans l'exposition simulée, les animaux ou les sujets témoins sont placés dans un équipement qui est capable de générer le courant électrique, mais qui en réalité n'est pas sous tension. Une expérience est appelée «en aveugle» si le sujet ne sait pas si une exposition a eu lieu ou non. De façon idéale, une expérience devrait être «en double aveugle», c'est-à-dire que ni le sujet ni ceux qui expérimentent sur le sujet et enregistrent sa réponse ne doivent savoir si l'exposition a eu lieu ou non. Ces procédés sont destinés à éviter les biais introduits par les observateurs ou

par ceux manipulant les sujets ou les animaux.

7.3 Elimination ou reconnaissance des facteurs prêtant à confusion

En dehors des microchocs, de la stimulation des poils ou de la peau et de l'appréhension, les facteurs prêtant à confusion peuvent inclure en particulier le bruit, les vibrations, les ions et les gaz étrangers (par exemple, ozone) et les différences de température ou d'humidité. Si ces facteurs ne peuvent pas être éliminés, ils doivent être mesurés et être pris entièrement en compte.

7.4 Analyse statistique

Une réduction minutieuse des données est normalement nécessaire pour déterminer la signification de toutes les tendances observées parce que les animaux et les sujets peuvent présenter des réponses variables et que les effets recherchés sont mineurs.

7.5 Répétition de l'expérience

Pour que les résultats inspirent une totale confiance, il faut que l'expérience puisse être répétée avec succès avec un groupe différent de sujets et dans un autre laboratoire. Malheureusement, la presque totalité des travaux publiés pèchent par une insuffisance de l'un ou l'autre de ces aspects. Bien que cela ne diminue pas nécessairement la validité des conclusions de ces études, cela constitue souvent une faiblesse, en particulier là où des effets positifs des champs électriques ont été identifiés.

Il n'y a pas de preuve de lésion organique provoquée par les champs électriques chez l'homme. Cela s'applique à la fois aux effets aigus et chroniques et ressort des études russes, américaines et européennes. Cela s'applique aussi bien à l'exposition aiguë qu'à l'exposition chronique.

Les effets attribués aux champs électriques, qui ont été rapportés, sont de nature fonctionnelle et générale. Des examens biochimiques complets n'indiquent aucun signe de stress.

Bien qu'il y ait quelques études sur le terrain et en laboratoire sur des êtres humains exposés à des champs électriques, beaucoup sont insuffisantes quant à la portée et aux détails, manquent de solidité statistique et ne sont pas soumises à des contrôles stricts. Les études soviétiques, en général, semblent souvent orientées pour aboutir à des résultats finals particuliers

prévus d'avance. Par exemple, les troubles fonctionnels du système nerveux central sont cités à maintes reprises pour expliquer une multitude de symptômes et de signes mal définis, tels que apathie, excitabilité, céphalées, somnolence et fatigue. En général, on ne peut avoir qu'une confiance très limitée en ces études et les Normes de l'environnement qui en sont ressorties.

A l'exception du risque évident d'électrocution accidentelle, aucun tableau de maladie professionnelle n'a été rapporté pour les travailleurs œuvrant dans un environnement de haute tension. Des sensations subjectives gênantes ou déplaisantes, telles que des microchocs, se produisent chez des travailleurs exposés à des champs haute tension. Il est intéressant de noter que, dès 1968, Krivova ait souligné l'importance de l'exposition aux microchocs dans l'induction de symptômes chez le personnel des sous-stations. Roberge, à Québec, a décrit l'anxiété et la peur des chocs électriques chez 22 des 56 ouvriers chargés de l'entretien qu'il a étudiés. Au Japon, Takagi a étudié, en 1976, les réponses de 40 sujets placés sous une ligne d'essai de 500 kV et dans des champs de 5 kV/m et plus qui montrent que les microchocs ont donné lieu à un certain malaise parmi les participants.

C'est pourquoi, dans le champ des expériences de laboratoire, l'élimination des microchocs est une condition préalable d'une importance majeure. Dans plusieurs rapports d'expérimentations animales, il semblerait que les animaux sont particulièrement sensibles et Cabanes et Gary ont décrit les vibrations atteignant une amplitude de 1 cm des moustaches de rats et de souris dans des champs de 20-50 kV/m. Ils ont montré également la sensibilité de l'avant-bras de l'homme à la perception de champs électriques avant et après rasage des poils sur l'avant-bras.

Un thème constant du travail soviétique est que des problèmes surviennent seulement dans les sous-stations où les tensions sont de 500 kV ou plus. Krivova, Lukovkin et Morozov [22] fournissent des données sur des intensités de champs dans de telles sous-stations. Les niveaux les plus élevés se situent entre 20 et 25 kV/m, ce qui est élevé pour les normes occidentales. Sur la base des travaux américains, la fréquence de malaises dus aux chocs serait probablement également élevée.

Une observation, qui a donné lieu à certaines spéculations, a été faite dans

deux rapports. Il s'agit de celui de Roberge qui a trouvé un ratio garçons-filles anormalement élevé chez les enfants nés de travailleurs exposés à l'action de champs haute tension, et de celui de Knave qui a rapporté une proportion anormalement élevée de filles. Knave a souligné que la différence du nombre des enfants était supposée être liée à des facteurs autres que l'exposition aux champs électriques, étant donné que la différence du nombre d'enfants a été trouvée dix ou quinze ans avant que le travail dans les sous-stations de 400 kV ne commence. On pourrait s'attendre à observer une différence dans la proportion des garçons et des filles dans de petits groupes; en fait, même avec des populations importantes, il est extrêmement improbable qu'elle soit égale à l'unité. Par conséquent, elle n'a pas d'importance du point de vue épidémiologique, mais est purement et simplement une observation dans une étude sectorisée. Le fait que l'observation intéresse un petit groupe et le fait que dans les deux rapports les proportions étaient inversées, illustrent ce point.

Quoique les différentes études déjà effectuées présentent certaines imperfections, il faut s'y attendre lorsque la probabilité est qu'aucune détérioration permanente de la santé ne se produit comme conséquence des expositions aux champs électriques. Il est significatif que la majorité des données suggèrent que l'exposition aux champs électriques se rencontrant normalement au voisinage d'installations de transport n'a pas d'effet pathologique et ne présente aucun risque pour la santé.

Certains chercheurs ont trouvé de légères modifications physiologiques passagères chez des sujets après plusieurs heures d'exposition à des champs de 10 kV/m ou plus. Aucun de ces chercheurs n'a prétendu que ces modifications devaient s'expliquer par d'autres causes telles que l'appréhension ou la perception de la présence du champ. Des tests en laboratoire montrent que les sujets ne présentent normalement pas de réponses physiologiques transitoires à une stimulation par de légers chocs électriques tels qu'ils peuvent les ressentir dans des champs électriques intenses au voisinage d'installations de transport. Les expériences sur les animaux n'ont pas apporté de confirmation de l'existence d'effets pathologiques après exposition à des champs atteignant 100 kV/m.

Des réponses physiologiques chez les animaux ont été confirmées seulement avec des champs suffisamment intenses pour que la perception soit probable. Les réponses semblent être légères et les résultats ne permettent pas de discerner les conséquences nettes en ce qui concerne la santé des êtres humains vivant au voisinage d'installations de transport.

Malgré la nature rassurante d'un grand nombre de résultats très récents, on ne peut jamais exclure complètement la possibilité que des effets mineurs sur la santé aient pu être omis. Des programmes de recherches sont en cours dans plusieurs pays, un effort particulièrement important ayant été fait aux *Etats-Unis d'Amérique*. Les sujets à l'étude vont des problèmes fondamentaux de l'interaction des champs électromagnétiques avec la matière vivante à des tentatives directes d'identifier des effets médicaux spécifiques – un exemple particulier dans cette dernière catégorie étant le travail qui se poursuit en *Suède* sur une détérioration possible des chromosomes et des malformations congénitales [29]. Ce rapport comprenait une étude rétrospective de l'incidence de malformations congénitales dans la descendance de 542 employés de sexe masculin du *Swedish State Power Board* et l'incidence d'aberrations chromosomiques dans des lymphocytes cultivés provenant de 20 travailleurs employés dans des sous-stations de 400 kV.

Un certain nombre d'observations intéressantes peuvent être faites en rapport avec ces études. La fréquence accrue de malformations se produit de façon uniforme dans toute la population étudiée, qu'il s'agisse de sous-stations de 400 kV, 130–200 kV ou 70 kV. Le groupe témoin est composé des mêmes individus avant qu'ils n'aient été exposés. C'est pourquoi toute l'étude a perdu sa validité parce que le groupe exposé et le groupe témoin ne sont pas assortis quant à l'âge. L'âge des parents est un facteur extrêmement important dans toute étude de malformations congénitales.

En ce qui concerne l'étude des chromosomes, les critères de sélection des 20 personnes exposées et des 20 personnes témoins ne sont pas définis. De plus, on admet que les personnes qui se décrivent comme employés travaillant dans des sous-stations de 400 kV et sur des lignes de transport sont exposées à des champs électriques. Des jugements subjectifs sur l'importance

de l'exposition aux champs électriques, même lorsqu'ils sont portés par des techniciens possédant une expérience approfondie du travail dans une installation de transport, ne devraient pas être considérés comme sûrs. En effet, aucune étude sur laquelle fonder un jugement bien documenté n'a été publiée concernant les expositions à des champs électriques objectivement mesurés pendant une journée entière de travail; les renseignements officiels laissent apparaître que les évaluations subjectives de l'exposition tendent à surestimer l'exposition réelle aux champs électriques.

D'autres études sont prévues en *Suède* [19] dans lesquelles environ 1500 hommes de 18 à 30 ans qui seraient employés en 1981, 1982 et 1983 dans les entreprises d'électricité suédoises seront étudiés pendant une période de 10 ans dans une étude épidémiologique prospective. Le type de travail et les différentes conditions (physiques et chimiques) auxquelles ils sont exposés dans leur travail et dans leur environnement social seront pris en considération.

D'autres études épidémiologiques de personnes exposées à des champs électriques doivent être organisées par l'*Electric Power Research Institute* (EPRI) et par le *Ministère de l'Environnement des Etats-Unis d'Amérique*. Au *Royaume-Uni*, une étude épidémiologique de travailleurs sur lignes de transport haute tension et sur réseau de distribution basse tension est en cours. Ces études vont couvrir un plus grand nombre de sujets que les études précédentes. L'étude, au *Royaume-Uni*, est réalisée conjointement par le *Central Electricity Generating Board* (CEGB) à *Londres* et le *Département de Psychologie Expérimentale de l'Université d'Oxford*. Environ 700 agents du *South West Britain* y participent et des corrélations vont être recherchées entre les réponses à un questionnaire de santé et les estimations d'exposition à des champs électriques sur des périodes remontant jusqu'à 15 ans. Pendant les deux semaines précédant la remise du questionnaire, des expositions individuelles seront mesurées à l'aide d'un simple compteur intégrateur fixé au bras. L'étude fournira, bien entendu, des données se rapportant directement aux conditions existant au *Royaume-Uni*.

La question de savoir si les individus présentent une réponse comportementale ou physiologique à des courants de 50 Hz, si ces courants ne sont

absolument pas perçus, doit être précisée par une étude expérimentale menée conjointement par le CEGB, le *Medical Research Council* et le *Département des maladies professionnelles de l'Université de Manchester*. Des électrodes de contact seront utilisées pour faire passer des courants d'une intensité inférieure à celle du seuil de perception chez des sujets volontaires pendant plusieurs heures, les électrodes étant disposées de sorte que la distribution du courant dans le corps soit approximativement celle qui serait induite par des champs électriques extérieurs de tensions non perturbées jusqu'à 30 kV/m.

Une batterie de tests psychométriques sensibles sera utilisée pour rechercher les réponses physiologiques à la présence du courant. Ils comporteront des tests de temps de réaction en série, de faculté de recherche visuelle et de raisonnement syntactique et sémantique. Ces tests sont supposés fournir le plus vaste filet qui puisse être jeté pour saisir un changement physiologique, tout en étant en même temps bien établis et expérimentalement réalisables. Les sujets seront testés en utilisant des techniques en double-aveugle.

Une autre question utile qui peut se poser est celle de savoir si certains individus sont particulièrement prédisposés pour être influencés par les champs électriques. Les études donnent peu d'informations à ce sujet, bien qu'on sache que les individus varient quant à leur capacité de percevoir les champs [13]. Des expérimentations animales, prévues aux *Battelle Pacific Northwest Laboratories*, rechercheront spécifiquement des corrélations entre les réponses comportementales et d'autres réponses (telle que l'excitation synaptique) comme conséquence d'exposition au champ. Un objectif est de voir si des individus sensibles sont également les plus susceptibles de présenter des effets physiologiques. Ces travaux peuvent fournir certaines données d'orientation pour des programmes de recherches futures sur les êtres humains.

Dans les études rapportées par *Cabanes* et *Gary* [6], sur la stimulation des poils par les champs électriques, il était également évident qu'il y avait une large variation individuelle en ce qui concerne le seuil de perception des champs parmi les 75 personnes participant à l'étude.

A un niveau plus fondamental, il y a la question de savoir quels sont les mé-

canismes physiques qui interviennent dans l'interaction entre les champs électriques de basse fréquence et le corps humain, et ce qui détermine les seuils de sensation, de douleur et de spasme musculaire. Divers groupes, dans le monde, ont attaqué ce problème, mais en raison de la complexité de la constitution physiologique de l'homme, il semble peu probable que des données soient disponibles à court terme pour éclairer la question de savoir si l'exposition aux champs électriques est nocive pour la santé. Il semble judicieux, par conséquent, de suivre l'approche plus directe, qui est celle de mesurer la réponse des sujets aux champs électriques, tout en surveillant les progrès des études théoriques et pratiques.

Une question d'un intérêt pratique immédiat, à laquelle on peut répondre, concerne la sensibilité possible des pacemakers cardiaques aux interférences créées par les champs électriques des installations de transport. Des études approfondies réalisées aux *Etats-Unis d'Amérique* [5], ont montré que la plupart des stimulateurs cardiaques ne sont pas influencés par ces champs. Quelques types de stimulateurs particulièrement sensibles peuvent s'inverser, dans des champs d'environ 3 kV ou plus à 60 Hz, en un mode de fonctionnement où ils stimulent le cœur en compétition avec les impulsions cardiaques naturelles au lieu de le stimuler en coopération. Cette inversion n'est pas connue pour être dangereuse, mais elle est considérée comme indésirable par certains cardiologues.

Des informations préliminaires montrent que la plupart des stimulateurs cardiaques utilisés au *Royaume-Uni* sont du type unipolaire, par opposition au type bipolaire plus largement utilisé aux *Etats-Unis d'Amérique*. Le type unipolaire a des électrodes plus largement espacées et va capter une tension d'interférence plus grande pour un courant corporel donné. Cependant, la fréquence de courant plus basse, utilisée en Europe, 50 Hz par opposition à 60 Hz aux *Etats-Unis d'Amérique*, signifie que des courants corporels proportionnellement plus faibles seront induits pour une intensité donnée du champ extérieur. Cette situation doit être évaluée plus en détail. Actuellement, le CEGB prévoit de collaborer avec le *Département de cardiologie* du *St. Bartholomew's Hospital* de *Londres*, pour évaluer la sensibilité aux interférences des stimulateurs utilisés au *Royaume-Uni* et pour contrô-

ler les performances des types les plus sensibles lorsque leurs porteurs sont exposés directement à des champs électriques.

D'autres actions prévues actuellement au *Royaume-Uni* par le CEGB, comprennent une étude de confirmation de l'incidence des champs électriques intenses au voisinage d'installations de transport, la fourniture d'aide pour la mesure des champs électriques ou magnétiques aux organismes médicaux ou autres qui peuvent en avoir besoin, et la diffusion de l'information sur ce sujet pour le public.

8. Conclusions

Une étude critique des phénomènes physiques et physiologiques associés avec l'exposition des organismes vivants aux champs électriques de même qu'une revue de la littérature sur le sujet ont été réalisées par un groupe d'experts de pays industrialisés sous les auspices de l'*Organisation Mondiale de la Santé* en 1978. Il a été conclu que les champs électriques étaient sans danger jusqu'à des tensions de 400 kV. Les experts étaient d'avis que cette façon de voir était valable pour des champs électriques associés à des tensions de transport jusqu'à 800 kV.

Cette conception demeure, avec l'affirmation supplémentaire que les autorités soviétiques pensent également que leurs évaluations passées sur ce problème étaient pessimistes. En raison du rôle prépondérant de l'électricité dans la société moderne, que ce soit au plan industriel ou domestique, d'autres travaux de recherche ont été entrepris ou prévus dans des conditions strictement contrôlées dans de nombreux pays: mais de l'avis du *Groupe d'Etudes Médicales de l'UNIPED*, il n'y a pas, jusqu'à maintenant, de nouveaux arguments pour qu'il modifie son accord avec le point de vue exprimé par le groupe d'experts de l'*Organisation Mondiale de la Santé* en 1978.

Références

- [1] Asanova T.P. and Rakov A.I., 1966. - The state of health of persons working in the electric field of outdoor 400 and 500 kV switchyards. *Gig. Trud. Prof. Zabol.*, **10** (5), 50-52.
- [2] Bianchi D., Cedrini, L., Ceria, F., Meda, E. and Re, G.G., 1973. - Exposure of mammals to strong 50 Hz electric fields. *Arch. Fisiol.*, **70**, 30-32.
- [3] Bourgsdorf V., 1980. - How the advancement of knowledge has modified the technical-economic feasibility forecasts, CIGRE, Round Table on UHV Transmission Feasibility, Subject 2.
- [4] Bonnell J.A., Cabanes J., Hauf R. and Malboysson E., 1980. - *J. Soc. Occup. Med.* **30**: B5-137.
- [5] Bridges J.E. and Frazier M.J., 1979. - The effects of 60 hertz electric and magnetic fields on implanted cardiac pacemakers, IITRI/EPRI Project 679-1, Final report, September.
- [6] Cabanes J. and Gary C., 1980.
- [7] Cerretti P. and Malaguti C., 1976. - Research carried out in Italy by ENEL on the effects, of high-voltage electric fields, RGE Numero Special, July, pp. 65-74.
- [8] Cerretti P., Veicsteinas A., Margonato V., Cantone A., Viola D., Malaguti C. and Previ A., 1978. - 1000 kV project: research on the biological effects of 50 Hz electric fields in Italy, *18th Annual Hanford Life Sciences Symposium*, Richland, Wa., October 16-18.
- [9] Danilin V.A., Voronin A.K. and Modorskii V.A., 1969. - The state of health of personnel working in high-voltage electric fields, *Gig. Trud. Prof. Zabol.*, **13** (5), 51-52.
- [10] Filippov V., 1972. - Die Wechselfeld-Wirkung auf den Menschen und Schutzmassnahmen, *Second International Colloquium on Prevention of Occupational Risks due to Electricity*, ISSA, Cologne, 30 Nov-1 Dec., pp. 70-80.
- [11] Fole F.F., 1973. - «PAT» phenomenon in electric-power substations, (paper to the 2nd Int. Colloqu. of the International Section of the ISSA, Cologne, 30 Nov.-1 Dec., 1972). *Medicina y Seguridad del Trabajo*, **21**, (81), 15-18, Jan.-Mar.
- [12] Fole F.F. and Dutrus E., 1974. - Nueva aportacion al estudio de los campos electromagnéticos generados por muy altas tensiones. *Med. y Seg. del Trab.*, **22**, (87), 75-44, July-September.
- [13] GE/EPRI, 1978. - Electrostatic and electromagnetic effects under ultra-high-voltage transmission lines. *EPRI Report No. EL-802*.
- [14] Greenberg B., Kunich J.C. and Bindokas V.P., 1979. - The effects of high-voltage transmission lines on honey bees. *EPRI Project*, EA-841, RP-934-1, Final Report, Phase 1.
- [15] Hauf R., 1974. - Wirkung von 50-Hz-Wechselfeldern auf den Menschen. *ETZ-b*, **26**, (12), 318-320 (CEGB Translation CE 6689).
- [16] Johansson R., Lundquist A.G., Lundquist S. and Scuka V., 1973. - Is there a connection between electricity in the atmosphere and the function of man? (Part 3 - Alternating Fields). *FOA C 2627 - H5*, September.
- [17] Kalyada T.V., 1979. - Workshop on Biological Effects of Physical Factors in the Environment, Seattle, Wa., June 11-15.
- [18] Knave B., Gamberale F., Bergstrom S., Birke E., Irgren A., Kolmodin-Hedman and Wennberg A., 1979. - Long-term exposure to electric fields—a cross-sectional epidemiologic investigation of occupationally exposed workers in high-voltage substations. *Electra*, **65**, 41-54.
- [19] Knave B., 1981. - CIGRE Conference Sweden.
- [20] Korobkova V.P., Morozov Yu.A., Stolarov M.S. and Yakub Yu.A., 1972. - Influence of the electric field in 500 and 750 kV switchyards on maintenance staff and means for its protection. *CIGRE*, 23-06.
- [21] Kouwenhoven W.B., Langworthy O.R., Singewald M.L. and Knickerbocker G.G., 1967. - Medical evaluation of man working in AC electric fields. *IEEE Trans.*, **PAS86** (4), 507-511.
- [22] Kivova T.I., Lukovkin V.V. and Morozov Yu.A., 1977. - The influence on the human body of the electric field caused by high-voltage AC electrical installations, *C.E. Trans.* 7496.
- [23] Malboysson E., 1976. - Medical control of men working within electromagnetic fields. *Rev. Gen. Elec.*, 1976-07, 75-80.
- [24] Marino A.A. and Becker R.O., 1977. - Biological effects of extremely low-frequency electric and magnetic fields: a review, *Physiol. Chem. and Physics*, **9**, 131-147.
- [25] Marino A.A., Becker R.O. and Ulrich B., 1976. - The effect of continuous exposure to low-frequency electric fields on three generations of mice: a pilot study. *Experientia*, **32** (5), 566-6.
- [26] Marino A.A., Cullen J.M. and Becker R.O., 1978. - Power-frequency electric fields and biological stress: a cause and effect relationship. Conference on biological effects of ELF electromagnetic fields, Richland, Wa., Oct. 16-18.
- [27] Michaelson S.M., 1979. - Analysis of studies related to biologic effects and health implications of exposure to power frequencies. *The Environmental Professional*, **1**, 217-232.

- [28] Miller W.M., 1980. - *American Journal of Epidemiology*, **112**, 165.
- [29] Nordström S. and Birke E., 1979. - Investigation of possible genetic risks among employees of Vattenfall/Sydkraft who had been exposed to 400 kV. Summary of preliminary results, Press release, University of Umea, Department of Medical Genetics, 25 October.
- [30] Phillips R.D., 1979. - Health aspects of power transmission, Symposium on Energy and Human Health: Human Costs of Electric Power Generation, Pittsburgh, PA. March 19-21.
- [31] Reichmanis M., Perry F.S., Marino A.A. and Becker R.O., 1979. - Relation between suicide and the electromagnetic field of overhead power lines, *Physiol. Chem. and Physics*, **11**, pp. 35-403.
- [32] Roberge P.F., 1976. - Study on the state of health of electrical maintenance workers on Hydro-Quebec's 735 kV power transmission systems, Hydro-Quebec, September.
- [33] Savin B.M., Shandala M.G., Nikonova K.V. and Morozov Yu.A., 1978. - Methods for studying and criteria for evaluating the biological effects of electric fields of industrial frequency, Paper for the American-Soviet Symposium on Superhigh Supply Lines, Tashkent (May).
- [34] Sazonova T.E., 1967. - *Physiological assessment of the work conditions in 400-500 kV open switching yard. Institute of Labour Protection of VTSPS, Moscow. Scientific Publications*, No. 46, 34-39.
- [35] Singewald M.L., Langworthy O.R. and Kouwenhoven W.B., 1973. - Medical follow-up study of high-voltage linemen working in a.c. electric fields. *IEEE Trans. Pas* **92** (4), 1307-1309.
- [36] Stopps G.J. and Janischewsky W., 1979. - Epidemiological study of workers maintaining HV equipment and transmission lines in Ontario, Canadian Electrical Association Research Report.
- [37] Strumza M.V., 1970. - Influence sur la santé humaine de la proximité des conducteurs d'électricité à haute tension. *Arch. Mal. Prof.*, **31** (6), 269-276.
- [38] Takagi T., 1976. - Electrostatic induction caused by extra-high-voltage overhead transmission lines, Japan IERE Council Document R7604, June.
- [39] Tucker R.D. and Schmitt O.H., 1978. - Tests for human perception of 60 Hz moderate strength magnetic fields. *IEEE Trans. BME*-25, (6), 509-518.
- [40] Wertheimer N. and Leeper E., 1979. - Electrical wiring configurations and childhood cancer. *American Journal of Epidemiology*, **109**, 273-284.

Coût de l'énergie de chauffage de l'eau sanitaire

Rapport du Comité d'études du développement des applications de l'énergie électrique

La présente synthèse examine le coût de l'énergie pour divers modes de chauffage classique de l'eau et considère ensuite le coût total du chauffage de l'eau dans les nouvelles habitations en tenant compte de l'entretien, de l'annuité correspondant au coût de premier établissement et de l'octroi d'une aide d'Etat.

Die vorliegende Synthese untersucht die Energiekosten für verschiedene Arten der herkömmlichen Brauchwarmwasser-Erzeugung und betrachtet hierauf die Brauchwarmwasser-Kosten in neuen Wohnungen unter Berücksichtigung des Unterhalts, der Amortisation der Investitionskosten und eventueller staatlicher Beihilfen.

1. Systèmes de chauffage de l'eau

Il existe deux systèmes d'installations d'eau chaude. Le premier, qui est le plus courant, fonctionne directement à partir du réseau d'eau presque à pleine pression. Des conduites de petit diamètre peuvent ainsi distribuer l'eau chaude dans toute la maison. Le deuxième, très répandu au Royaume-Uni et en Irlande, fonctionne à basse pression. L'eau froide pénètre dans une bache ouverte située dans le grenier. La hauteur géométrique (3 à 6 m) fournit la pression. Ce système exige donc des conduites bien plus grandes (12 à 18 mm de diamètre). La bache a pour but d'empêcher la contamination de l'eau par un reflux d'eau accidentel.

Il existe une large gamme d'appareils électriques de production d'eau chaude. Beaucoup d'entre eux sont des chauffe-eau à chauffage instantané comme dans certaines douches: quelques-uns sont de petits ballons à faible contenance utilisés par intermittence alors que d'autres sont de gros ballons d'eau chaude qui fonctionnent la nuit pour profiter du coût inférieur de l'électricité. Les chauffe-eau électriques instantanés ont un rendement de 100%. Les problèmes de puissance appelée maximale limitent la puissance de ces unités, au Royaume-Uni, à

7 kW, ce qui suffit pour une douche, mais pas pour un bain. La Belgique fait figure d'exception avec des chauffe-eau domestiques de 12, 18 et 24 kW. La différence de prix de l'électricité entre le jour et la nuit favorise l'accumulation nocturne et la plupart des pays européens recourent largement à ce système de production d'eau chaude. Les systèmes à accumulation ont un rendement de 75 à 80% en raison des pertes thermiques minimales, mais continues à travers le ballon de stockage calorifugé et des pertes dans les conduites de distribution. Les pompes à chaleur électriques, associées à des ballons d'accumulation sont désormais disponibles. Il existe des types de pompes à chaleur qui refroidissent les parties surchauffées de la maison et transfèrent l'énergie récupérée à l'eau chaude. D'autres utilisent l'air extérieur comme source d'énergie. Ces pompes à chaleur ont un coefficient de performance (COP) qui varie entre 2 et 3, c'est-à-dire qu'elles transfèrent à l'eau chaude deux à trois fois plus d'énergie qu'elles n'en consomment. Les pertes dans les conduites sont les mêmes que dans les systèmes classiques à ballon central à accumulation.

Les chauffe-eau instantanés au gaz ont un rendement de 45 à 55%. Les systèmes à accumulation fonctionnant en été avec de grandes chaudières de