

---

**HYDRO-QUÉBEC**

<p style="text-align: center;"><b>CHAMPS ÉLECTRIQUE ET MAGNÉTIQUE:</b></p> <p style="text-align: center;"><b>PRATIQUES DE CONCEPTION ET D'EXPLOITATION DES INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES À COURANT ALTERNATIF</b></p>
---

**Préparé par:**

- Bernard Cyr, Ingénieur**  
Service Développement et Planification du réseau(DD)
- Antonio Dutil, Ingénieur**  
Service Études de réseau (DPRE)
- Daniel Goulet, Biologiste**  
Service Contaminants et Substances toxiques (VPE)
- Sarma Maruvada, Ingénieur**  
Service Lignes aériennes (DTAE)
- Michel Plante, Médecin**  
Service Santé (DSS)
- Jacques Robichaud, Ingénieur**  
Service Expertise de réseaux (DE)
- Serge Robin, Ingénieur**  
Service Réseau de transport (DPRE)

**AOUT 1995**

---

**TABLE DES MATIERES**

Introduction	2
Notions de champs électrique et magnétique	2
Niveaux de champs électrique et magnétique à Hydro-Québec	3
Effets sur la santé	5
Directives et normes d'exposition aux champs électrique et magnétique applicables aux lignes électriques et pour l'ensemble du public	6
Gestion de la problématique par les entreprises d'électricité	8
Conclusion et recommandations	10
Références	11
Annexe	

---

## INTRODUCTION

Lors de la Conférence Internationale des Grands Réseaux Électriques (CIGRÉ) en 1972, des chercheurs russes se sont interrogés sur les effets possibles sur la santé de l'exposition aux champs électriques élevés. À Hydro-Québec, un Comité de travail sur les effets biologiques de ses installations électriques a été mis sur pied en 1982 pour examiner cette problématique. En s'appuyant à la fois sur les recommandations de ce Comité de travail <1> et sur les orientations établies en concertation avec les ministères québécois concernés pour donner suite aux décrets gouvernementaux #729-84 et 924-87, Hydro-Québec a élaboré, en 1986, un Plan d'action corporatif sur les effets biologiques des champs électrique et magnétique.

Depuis, la controverse scientifique concernant les effets des champs électrique et magnétique (CEM) est toujours d'actualité. Ces champs sont générés notamment par les équipements électriques 60 Hz d'usage domestique et industriel.

Les résultats des nombreuses recherches réalisées depuis plus de vingt ans ne permettent pas d'établir un lien de causalité entre la présence de champs électrique et magnétique et un quelconque risque pour la santé de la population.

Face à l'incertitude scientifique et à la préoccupation du public, les organismes internationaux, les autorités gouvernementales et les entreprises d'électricité, dont Hydro-Québec, se penchent sur la pertinence d'adopter des limites d'exposition aux CEM.

Le présent document vise à informer les responsables de la conception et de l'exploitation du réseau électrique de la nature de la problématique et à recommander des niveaux de CEM à Hydro-Québec.

## NOTIONS DE CHAMPS ÉLECTRIQUE ET MAGNÉTIQUE

Bien que nous faisons un usage quotidien de l'énergie électrique, l'électricité, au sens large, demeure pour plusieurs d'entre nous un sujet difficile et souvent mystérieux. Pourtant, toute la matière qui nous entoure est constituée de particules électriques qui interagissent entre elles par l'intermédiaire d'une force électromagnétique que l'on décrit par deux quantités physiques nommées **champ électrique (CE)** et **champ magnétique (CM)**.

Par définition, un champ est une quantité physique pouvant prendre différentes valeurs en divers points de l'espace (Ex.: température, vitesse d'écoulement d'un liquide etc.). Le CE et le CM sont également des exemples de quantités physiques bien définies pouvant être mesurées ou calculées à chaque point de l'espace qui nous entoure. Ils varient généralement en fonction du temps et en fonction de la distance des sources. Le CE et le CM sont reliés entre eux par les lois de l'électromagnétisme.

En termes scientifiques, un CE est produit par la présence de charges électriques dans l'espace, et se manifeste comme une force à distance exercée sur une charge ponctuelle.

---

En pratique, cependant, on peut dire qu'un CE est associé à la tension (ou le voltage) appliquée à un appareil électrique, et s'exprime généralement en volt par mètre (V/m).

En termes scientifiques, un CM est produit par le mouvement de charges électriques (un courant électrique) dans l'espace, et se manifeste comme une force à distance exercée sur un petit élément de courant.

En pratique, un CM est associé au courant dans un appareil, et s'exprime en Gauss (G) ou en Tesla (T); un Tesla étant égal à 10 000 Gauss.

Un champ électromagnétique, à un point donné de l'espace, existe lorsque le CE et le CM sont "couplés", c'est à dire lorsqu'ils sont mutuellement perpendiculaires et que leur intensité varie proportionnellement. Le champ rayonné par une antenne radio ou télévision, à des distances éloignées (plus grand que la longueur d'onde) est un exemple du champ électromagnétique. Par contre les CEM générés près des équipements à des fréquences industrielles (60 Hz) sont quasi-indépendants l'un de l'autre de sorte que le CE dépend uniquement des tensions appliquées et le CM uniquement des courants.

## **NIVEAUX DE CHAMPS ÉLECTRIQUE ET MAGNÉTIQUE À HYDRO-QUÉBEC**

Les niveaux des CEM associés aux lignes à haute tension sont généralement représentés par des profils latéraux qui illustrent la valeur du champ en fonction de la distance mesurée à partir du centre de la ligne. A Hydro-Québec, les niveaux de tension pour les principales lignes de transport et de répartition varient de 735 kV à 120 kV tandis que les tensions des lignes de distribution sont de 12 kV et 25 kV.

### **Champ électrique**

Pour le CE, le profil latéral dépend non seulement du niveau de tension de la ligne mais aussi de la configuration relative des phases, laquelle joue un rôle particulièrement important dans le cas des lignes biternes. Comme la tension varie peu en cours d'exploitation, le profil latéral demeure relativement constant.

La figure 1 montre le profil latéral du CE propre aux lignes de répartition et de transport. Ces profils ont été obtenus en utilisant d'une part, les hauteurs minimales des conducteurs permises pour chacun des niveaux de tension et d'autre part, un phasage ABC-CBA dans le cas des lignes biternes. De plus, ces profils de CE ont été calculés en l'absence d'objets conducteurs dans l'environnement immédiat des lignes, car ceux-ci déforment le profil du champ électrique.

La valeur maximale du CE n'excède pas 10 kV/m sous les lignes, ni 2 kV/m en bordure de l'emprise. Ces valeurs maximales s'appliquent donc à mi-portée lorsque les conducteurs sont en position de flèche maximale, soit lorsque les conducteurs portent un courant qui les amène à leur limite d'échauffement ou lorsque du verglas se forme sur les conducteurs.

---

L'effet de la disposition relative des phases (phasage) d'un circuit par rapport à l'autre sur une ligne biterne est illustré à la figure 2, pour une ligne à 230 kV. On y observe notamment, que le phasage ABC-CBA produit un CE au niveau du sol plus faible que le phasage ABC-ABC. C'est pourquoi le phasage ABC-CBA fait partie des critères de conception et d'exploitation des lignes bitermes.

Dans le cas des lignes de distribution à 25 kV, le CE étant proportionnellement beaucoup plus faible ne fait pas l'objet d'un critère de conception.

### Champ magnétique

Le profil latéral du CM dépend à la fois du courant qui circule dans la ligne et de la configuration relative des phases, comme pour le CE. Comme le courant dépend de la charge à alimenter, le profil du CM est donc très variable dans le temps. En effet, peu après sa construction, une ligne typique alimente généralement une charge faible qui ira en s'accroissant avec les années. De plus, pour une charge donnée, les variations annuelle et journalière sont significatives. Par exemple, la valeur de la charge représentée par une zone résidentielle est environ trois fois plus importante à la pointe de charge hivernale qu'au creux de consommation estivale. Des précisions sur les variations de courant acheminé par une ligne électrique au cours de sa vie utile, estimée à 50 ans, sont données en l'annexe.

La figure 2 illustre l'effet du phasage dans le cas d'une ligne biterne à 230 kV pour un courant 2000 ampères. Comme pour le CE, le phasage ABC-CBA produit le CM le plus faible, surtout en bordure de l'emprise.

Les profils du CM des lignes de répartition et de transport de 120 kV à 735 kV sont présentés aux figures 3 à 7. Les profils du CM au voisinage des lignes de distribution sont montrés aux figures 8 à 11. Les figures 8 et 9 correspondent respectivement à des lignes aériennes triphasée et monophasée. La figure 10 montre le profil d'un circuit triphasé souterrain alors que la figure 11 illustre celui d'une canalisation souterraine contenant sept circuits triphasés actifs.

Chaque figure comprend trois profils, chacun correspondant à la probabilité d'occurrence du courant indiqué sur les figures.

Le profil à 0,1% correspond à la durée probable pour des événements exceptionnels qui peuvent se produire sur le réseau. De tels événements peuvent amener les lignes à transporter un courant correspondant à la capacité thermique des conducteurs des lignes. Dans le cas des lignes bitermes, cela peut se produire lorsqu'un des deux circuits n'est plus disponible alors que la charge est à son maximum. Dans le cas des lignes de transport à 735 kV, cela peut survenir lors d'événements exceptionnels telles que la perte de plusieurs lignes ou d'un poste majeur du réseau de transport. L'addition de la compensation série sur les lignes reliant les centres de production de la Baie James et de Manic-Churchill Falls aux centres de consommation permet en effet de transiter un courant pouvant atteindre 5 250 ampères sur certains tronçons de lignes. Cette surcharge exceptionnelle n'est toutefois possible que pendant 30 minutes suite à un tel événement qui est rarement vécu. Cette surcharge

---

exceptionnelle correspond à une reprise de charge d'une durée d'une à trois heures après une période prolongée d'interruption lors d'un froid intense.

Le profil de charge à 5% correspond à la pointe annuelle moyenne sur 50 ans entre décembre et mars. De même, le profil à 50% correspond à la charge moyenne au cours de la durée de vie typique d'une ligne, évaluée à 50 ans.

Les profils sont obtenus en utilisant la hauteur minimale des conducteurs permise pour chacun des niveaux de tension. Comme mentionné précédemment, les conducteurs ont pratiquement toujours un dégagement supérieur au niveau minimal prescrit au-dessus du sol, même à mi-portée; le CM est ainsi diminué.

Les largeurs d'emprise généralement utilisées sont de 30 mètres pour les lignes de 120 à 230 kV, de 40 mètres pour les lignes à 315 kV et de 80 mètres pour celles à 735 kV. A 25 kV, l'emprise typique des lignes aériennes a 5 mètres alors que celle des circuits souterrains est de 1,5 mètre. Le tableau 1 résume les valeurs des CEM que l'on peut retrouver dans les emprises des lignes de transport, de répartition et de distribution.

À Hydro-Québec, les postes ont pour fonction de relier entre eux les centrales de production, les lignes de transport, de répartition et de distribution. A l'exception de quelques postes isolés au SF<sub>6</sub>, la haute tension dans la plupart des postes est à l'extérieur. La moyenne tension peut être soit à l'extérieur soit à l'intérieur. Dans les sections à haute tension, le niveau moyen de CM est d'environ 2  $\mu$ T et le niveau maximal mesuré atteint environ 20  $\mu$ T. Dans les sections à moyenne tension, le niveau moyen du CM est d'environ 20  $\mu$ T, tandis que le niveau maximal mesuré atteint environ 65  $\mu$ T.

Les champs électrique et magnétique sont aussi présents partout où l'énergie électrique est utilisée. Par exemple, dans les rues des grandes villes et des banlieues, le champ électrique moyen peut varier de 0,01 à 0,1 kV/m avec une valeur médiane (L<sub>50</sub>) d'environ 0,03 kV/m et le champ magnétique moyen est de l'ordre de 0,05 à 0,5  $\mu$ T avec une valeur médiane de 0,2  $\mu$ T. Dans le cas des logements, les champs électrique et magnétique peuvent dépendre du type de maison, du réseau de distribution voisin et du type de mise à la terre. Dans les résidences, le champ électrique moyen varie entre 0,001 à 0,1 kV/m avec une valeur médiane de 0,02 kV/m et le champ magnétique moyen se situe entre 0,02 et 0,6  $\mu$ T avec une valeur médiane de 0,13  $\mu$ T.

## **EFFETS SUR LA SANTÉ**

Les premiers soupçons quant aux effets potentiels des champs d'extrêmes basses fréquences (< 300 Hz) sur la santé sont apparus au début des années 1970 alors que se développaient les réseaux à haute tension. On s'est d'abord inquiété de la santé des travailleurs chargés de l'entretien des équipements électriques. Plusieurs pays ont donc mené des études dans ce domaine, sans toutefois identifier des maladies associées au travail près des lignes de transport. Alors que c'est le champ électrique qui a fait l'objet des premières inquiétudes, le champ magnétique tant en milieu résidentiel qu'en milieu de travail fait lui aussi l'objet d'études depuis une quinzaine d'années.

---

Lorsqu'une personne est exposée à un CEM alternatif, un courant est induit dans son corps. Dans le cas d'un homme debout sous une ligne à haute tension de 735 kV, le courant total induit sera d'environ 0,16 mA. Puisque la surface de la section à travers laquelle passe ce courant diffère selon la portion du corps, la densité de courant variera d'un minimum au niveau du tronc à un maximum au niveau des chevilles. La valeur moyenne de densité de courant induit par un champ externe de 10 kV/m est environ 2 mA/m<sup>2</sup>.

Les effets des CEM de 60 Hz aux intensités que l'on retrouve sous les lignes à haute tension (LHT) et ailleurs dans notre environnement ont fait l'objet de nombreuses recherches depuis plus de 20 ans. Ces recherches ont permis d'établir ce qui suit:

Les CEM générés par les équipements électriques n'ont aucun effet décelable à court terme sur la santé humaine. On possède maintenant des données abondantes sur ce sujet grâce au suivi de l'état de santé de milliers de travailleurs exposés à ces champs et aux nombreuses expériences réalisées avec des animaux de laboratoire et auprès de volontaires. On constate ainsi que, bien que certains effets biologiques aient été observés dans des conditions expérimentales rigoureusement contrôlées, on n'a pu mettre en évidence d'effets néfastes sur la santé, même après une exposition prolongée à des champs d'intensités comparables à celles que l'on rencontre au voisinage des installations électriques.

Quant aux effets à long terme, des doutes persistent sur l'existence d'un lien entre l'exposition au CM et le cancer. Une cinquantaine d'études épidémiologiques, incluant l'étude conjointe EDF-HQ-OH, ont été publiées depuis 1979 et les résultats demeurent non concluants. Quelques études rapportent un risque accru de certains cancers relié à des expositions aussi faibles que 0,2 µT. Plusieurs recherches en laboratoire de même que de nouvelles études épidémiologiques sont actuellement en cours.

## **DIRECTIVES ET NORMES D'EXPOSITION**

Les CE associés à des lignes sont en fait restreints par des dispositions obligatoires qui définissent des distances de sécurité par rapport aux conducteurs à haute tension. Plusieurs organismes responsables de la sécurité prescrivent le courant maximal de choc électrique admis au contact d'une structure ou d'un véhicule soumis à un champ électrique. Le code national américain de la sécurité électrique <2> indique une valeur limite de 5 mA, valeur qui est également utilisée au Canada et respectée par Hydro-Québec.

Actuellement, les limites d'intensité des CEM sont de deux types: Les limites de champs générés par les LHT et les limites d'exposition humaine (champ et durée). Pour les fins de ce document, la première approche sera regroupée sous le vocable de "valeurs limites des niveaux de CEM lors de la conception et de l'exploitation des lignes à haute tension" et la seconde sous celui de "limites d'exposition du public aux CEM".

---

### **Limites des niveaux de champs électrique et magnétique applicables à la conception et à l'exploitation des lignes à haute tension à 60 Hz**

Actuellement, les limites d'intensité pour le CE sont la plupart du temps établies en fonction de la perception tactile de microchocs électriques.

Le tableau 2 montre les limites, pour différents états américains et au Québec, des intensités de CEM spécifiées en bordure d'emprise des LHT.

Les limites de CM indiquées au tableau n'ont pas été établies à partir de critères basés sur la physiologie mais représentent plutôt les valeurs efficaces résultantes des lignes existantes; elles sont donc le reflet d'un statu quo. Pour les états de la Floride et de New York, les nouvelles lignes ne devront pas produire un niveau de champ magnétique supérieur aux lignes existantes. La limite de l'intensité du CM dans l'état de la Floride fait force de loi.

A Hydro-Québec, une directive interne <3> demande que le CE des lignes de transport à 60 Hz soit limité à 2 kV/m en bordure d'emprise. Présentement, il n'existe pas dans l'entreprise de directive similaire pour le CM .

### **Limites d'exposition du public aux champs électrique et magnétique**

La principale variable sur lequel plusieurs organismes, dont l'International Radiation Protection Association (IRPA)<sup>1</sup><4> et le National Radiological Protection Board (NRPB) du Royaume-Uni <5>, se réfèrent pour élaborer une limite d'exposition est la densité de courant induit dans le corps.

La limite de la densité de courants induits dans la tête et le tronc en cas d'exposition continue à des CEM de 50/60 Hz est de 10 mA/m<sup>2</sup>. Cette valeur correspond aux densités de courant produites par certaines fonctions physiologiques normales du corps humain telles que les activités cardiaque, cérébrale et musculaire <6>.

Le tableau 3 nous indique les limites d'exposition de la population aux CEM d'extrêmes basses fréquences établies par ces organismes .

Il n'existe actuellement aucun guide d'exposition aux CEM au Canada.

A Hydro-Québec, les intensités des CEM mesurées dans l'environnement immédiat des LHT à 60 Hz ne sont pas supérieures à l'ensemble des limites d'exposition humaine aux CEM fixées par les pays et les organismes scientifiques.

---

<sup>1</sup>IRPA est un organisme indépendant qui travaille en collaboration avec l'Organisation mondiale de la santé (OMS). Les directives mentionnées au tableau 3 ont été élaborées par le Comité international d'études des rayonnements non-ionisants, sous-division de l'IRPA.

---

## GESTION DE LA PROBLÉMATIQUE PAR LES ENTREPRISES D'ÉLECTRICITÉ

L'électricité est une forme d'énergie qui est familière aux sociétés modernes. Néanmoins, elle nous expose quotidiennement, surtout en milieu urbain, aux CEM d'extrêmes basses fréquences (50/60 Hz) générés par les équipements électriques tels que les LHT et les appareils électriques domestiques. Si ces champs s'avéraient un danger pour la santé, la société serait en face d'un problème de santé publique en raison de l'importance des populations exposées.

Mais, le constat actuel indique que les risques suspectés sont difficilement détectables et quantifiables. Cette problématique se caractérise par une forte incertitude scientifique. Dans ce débat, les scientifiques se refusent à prendre une position tranchée et à faire des recommandations car la situation nécessite la validation des connaissances, condition nécessaire à la définition de solutions réellement efficaces.

Le débat s'est également déplacé sur la place publique. Les risques sanitaires liés à l'électricité sont probablement faibles s'ils existent, mais ce n'est pas parce que les risques ne sont pas vérifiables, qu'ils ne sont pas craints. Les risques sont d'autant plus redoutés qu'ils sont incertains, invisibles, indécélables, involontaires, inégalement répartis et incontrôlables par les individus eux-mêmes. De tout temps, le progrès technologique a soulevé craintes et résistances.

Dans ce contexte, une double intolérance, de la part du public, doit être notée: l'intolérance au risque et l'intolérance à l'incertain. Il suffit de suivre de près les médias d'information et les litiges en cours pour s'apercevoir que la perception des risques technologiques laissent présager que les craintes et les exigences de prévention au niveau de la collectivité sont très fortes dans l'opinion publique. Certains penseront que cette inquiétude n'est ni fondée, ni rationnelle. N'oublions pas que la rationalité scientifique n'est qu'un des éléments qui entrent en ligne de compte dans la constitution d'une opinion.

Un minimum de tolérance s'impose donc dans le cadre social de cette problématique. D'où le défi auquel font face les décideurs dans les entreprises d'électricité. Ils doivent trouver un juste équilibre entre deux attitudes: la sous-réaction qui engagerait sa responsabilité si le danger existait réellement et la sur-réaction qui conduirait à gaspiller des ressources lorsque d'autres problèmes sont plus urgents si le risque appréhendé était inexistant.

Devant la difficulté de prendre une décision éclairée face à l'incertitude scientifique il devient nécessaire de rester vigilant. En effet plusieurs questions se posent:

A partir de quand faudra-t-il considérer que la problématique est suffisamment comprise pour agir?

Est-ce que l'on attend que le mécanisme biologique éventuel soit élucidé ou que la causalité soit démontrée?

---

Personne ne songe à préconiser l'arrêt de l'utilisation de l'énergie électrique mais on sent bien qu'il n'est pas acceptable non plus de vouloir tout savoir avant d'agir. Certaines entreprises d'électricité proposent des solutions: utiliser des lignes souterraines, fixer des normes de conception ou d'exploitation, ou supprimer les expositions inutiles qui peuvent l'être à moindre coût (prudent avoidance). Lorsqu'on examine toutes ces propositions, la cohérence est difficile.

Rappelons que les instances internationales ont affirmé à plusieurs reprises que les bases scientifiques pour l'évaluation d'un risque dans le but d'établir des limites d'exposition plus restrictives, n'existent pas. Rappelons également qu'il n'existe pas de solution technique simple pour réduire substantiellement l'exposition sans modifier considérablement les installations électriques.

Alors faut-il agir? Et comment?

En l'absence de position scientifique claire, il faut que la population soit informée que la problématique est sérieusement prise en considération par les entreprises d'électricité. Les priorités sont de vérifier continuellement l'état des connaissances, de poursuivre la recherche, d'informer le public, et d'agir avec prudence au moment de modification des installations existantes et d'implantation de nouveaux équipements. Au moment de l'action, il faut tenir compte des préoccupations de la population concernée par ces projets ainsi que des directives émises par les instances internationales en matière d'exposition aux CEM à 50/60 Hz.

---

## CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Les CEM à 60 Hz produits par les installations électriques d'Hydro-Québec respectent les limites d'exposition de l'IRPA. Ces limites visent à maintenir la densité de courant induit en deçà de celles induites par diverses fonctions physiologiques normales du corps humain.

Dans le cas du CE, les valeurs préconisées par l'IRPA sont de 5 kV/m jusqu'à 24 heures par jour et de 10 kV/m pendant quelques heures par jour; la valeur maximale du CE sous les conducteurs des lignes d'Hydro-Québec n'excède pas 10 kV/m alors qu'en bordure de l'emprise des lignes, le champ n'excède pas 2 kV/m.

Quant au CM, les valeurs recommandées par l'IRPA sont de 100  $\mu$ T jusqu'à 24 heures par jour et de 1 000  $\mu$ T pendant quelques heures par jour; la valeur du CM sous les conducteurs de certaines lignes d'Hydro-Québec peut atteindre exceptionnellement 100  $\mu$ T pendant quelques heures par année alors qu'en moyenne elle est de 15  $\mu$ T. En bordure d'emprises, le CM de certaines lignes peut atteindre exceptionnellement 20  $\mu$ T pendant quelques heures par année par rapport à une moyenne de 3  $\mu$ T. La limite de 100  $\mu$ T confère une marge de sécurité suffisante pour les personnes les plus vulnérables de la population tels que les porteurs de stimulateur cardiaque.

Il est donc recommandé:

- 1) de concevoir et d'exploiter les installations électriques d'Hydro-Québec de telle sorte que les champs électrique et magnétique (CEM) générés à 60 Hz permettent le respect des limites d'exposition humaine suggérées par l'IRPA;
- 2) de maintenir une attitude prudente notamment en vérifiant continuellement l'état des connaissances, en poursuivant la contribution à l'effort de recherche au niveau international, en informant régulièrement le public lors de modification des installations existantes et de l'implantation de nouveaux équipements.

---

## RÉFÉRENCES

- <1> Rapport du Comité de travail sur les effets biologiques des équipements électriques d'Hydro-Québec, Hydro-Québec, 1983.
- ↻ National electrical safety code, American Standards Institute, ANSI/IEEE SH 12641, 1990.
- ↻ Beauchemin R. et al "Critères de conception des réseaux à haute tension reliés à la répercussion des phénomènes électriques sur le milieu", Hydro-Québec, 1980.
- <4> International Radiation Protection Association, "Interim guidelines on limits of exposure to 50/60 Hz electric and magnetic fields", Health Physics, 58: 113-122, 1990 (revision en 1993, aucun changement des limites d'exposition).
- <5> National Radiological Protection Board (UK), Guidance as to restrictions on exposures to time varying electromagnetic fields and recommendations of the International non-ionizing radiation committee, NRBB-GS11, 1989 (revision en 1993, volume4 no5, aucun changement des limites d'exposition).
- <6> World Health Organization, "Magnetic fields", Environmental Health Criteria 69, Geneva, 1987.

## **ANNEXE**

### **Évolution du courant transité par une ligne électrique à Hydro-Québec**

Le courant transité par une ligne électrique varie sur une base horaire, journalière et saisonnière. De plus le courant évolue également au cours de la durée de vie utile de celle-ci qui est évaluée à 50 ans. Afin d'établir une distribution de la valeur du champ magnétique existant à proximité des lignes, le scénario suivant a été retenu.

#### **1) Courant initial transité par une ligne électrique**

Le scénario typique conduisant à la construction d'une nouvelle ligne électrique consiste à alimenter une nouvelle charge ou à alimenter une partie de la charge d'un poste rendu à sa capacité ferme.

Pour les lignes à 120 kV, à 161 kV et à 230 kV alimentant de nouveaux postes de distribution, le courant de pointe initial est de 300 ampères pour les deux circuits d'alimentation, soit 150 ampères par circuit. Pour les lignes à 315 kV, le courant de pointe initial est estimé à 175 ampères par circuit. A 735 kV, un relevé des courants transités par les lignes récemment construites révèle que la charge initiale sur une telle ligne, à la pointe hivernale, est de l'ordre de 1000 ampères.

Dans le cas d'une ligne de distribution à 25 kV, prenons pour acquis qu'elle aura son courant maximal de 350 ampères (16 MVA), à la pointe hivernale, dès la première année et que ce courant de pointe demeure constant chacune des années subséquentes. De plus, dans le cas d'une ligne de distribution triphasée, il a été pris en compte, une débalance de + 5% et - 5% du courant des deux phases extérieures par rapport à la valeur de la phase centrale. Dans le cas de la ligne de distribution monophasée, le courant à la pointe hivernale est de 100 ampères dont la moitié circule, en polarité inverse, dans le conducteur de neutre situé à 2 mètres plus bas que le conducteur. Enfin, les conducteurs torsadés à basse tension (120/240 volts) contribuent très peu au champ magnétique parce qu'ils sont situés très près l'un de l'autre et qu'ils portent des courants de polarité inverse dont l'amplitude est pratiquement la même.

#### **2) Variation horaire, journalière et saisonnière de la charge**

L'analyse de la variation de la charge alimentée par différentes lignes nous permet d'établir les paliers suivants pour qualifier les variations journalière et saisonnière d'une charge typique:

- la pointe de charge survient pendant 4 mois (décembre à mars) au rythme de 16 heures par jour;
- pendant ces 4 mois, au cours des 8 heures restantes, la charge vaut 75 % de la pointe;
- pendant les 8 autres mois (avril à novembre), la charge vaut 50 % de la pointe hivernale durant 16 heures par jour et 37,5 % de celle-ci pendant les 8 heures restantes.

#### **3) Évolution annuelle de la charge alimentée par les lignes**

À partir de la première année d'exploitation d'une ligne électrique, nous considérons que la charge alimentée augmente au rythme de 3 % par année. Pour les lignes de répartition de 120 kV à 315 kV, ce taux d'accroissement est assumé pendant toute la durée de vie utile planifiée de la ligne, soit 50 ans. La charge alimentée par les lignes biternes de 120 kV à

315 kV, à la fin de la période de 50 ans sera donc de 275 MVA à 850 MVA ce qui signifie qu'un deuxième poste est venu se greffer sur les lignes.

Dans le cas des lignes à 735 kV, le taux d'accroissement annuel de 3 % est maintenu pendant 20 ans et devient nul pendant les 30 ans de vie résiduelle de la ligne. La ligne transite alors environ 2300 MW à la pointe hivernale annuelle.

Dans le cas des lignes de distribution à 25 kV, le taux d'accroissement de la charge n'est pas considéré car l'on suppose, d'une façon conservatrice, que la pointe de charge sur celles-ci atteint sa valeur maximale dès la première année et que cette charge demeure constante tout au cours de leur durée de vie.

#### **4) Charge maximale sur les lignes électriques**

Dans les conditions d'urgence, les lignes électriques peuvent porter un courant correspondant à leur limite thermique. Dans le cas des lignes de répartition biternes de 120 kV à 315 kV, cela survient lors de l'indisponibilité d'un circuit, l'autre circuit alimentant alors la charge totale. Cette situation survient rarement, surtout à la pointe de charge hivernale alors que la ligne arrive à la fin de sa vie utile. Une durée cumulative présumée de trois semaines correspond à 0,1 % du temps de vie de la ligne.

Dans le cas des lignes à 735 kV compensées-série, les scénarios de surcharge des lignes les plus sollicitées supposent une surcharge de 5250 ampères pendant 30 minutes. De telles contingences ne sont pas susceptibles de survenir souvent, de telle sorte que la probabilité associée devrait être inférieure à 0,1 % ce qui a été retenu à la figure 7 et que le tableau 1 fait ressortir.

Dans le cas des lignes à 25 kV, la probabilité de 0,1 % du temps (8 heures par année) correspond à une reprise de charge suite à une interruption prolongée l'hiver au cours de laquelle la pointe de consommation peut atteindre deux fois la charge maximale planifiée.

#### **5) Charge Industrielle**

Une nouvelle ligne, de distribution ou de répartition, peut également alimenter une charge principalement industrielle dont la variation en fonction du temps peut être moins prononcée que les scénarios décrits précédemment. Dans une telle situation, les profils d'occurrence d'un champ magnétique donné doivent être calculés pour chacun des cas, car ces charges sont très différentes les unes des autres et difficilement représentables par un profil unique.

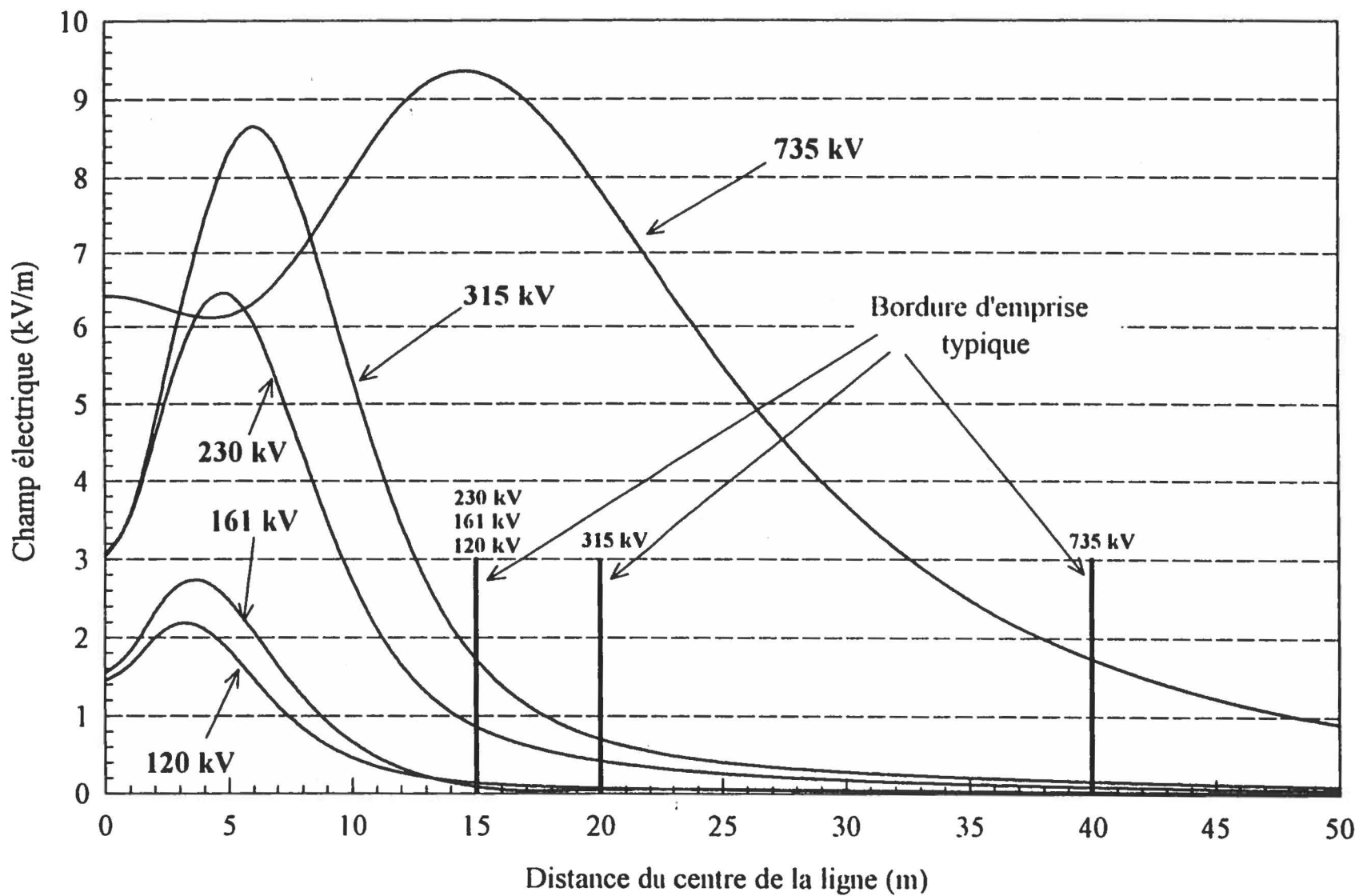
#### **6) Hauteur minimale des conducteurs au-dessus du sol**

La hauteur minimale des conducteurs au-dessus du sol ayant servi à produire les figures et tableaux présentés dans ce document correspondent aux valeurs minimales définies dans les normes de construction et valent: 5,5 mètres à 120 kV, 5,8 mètres à 161 kV, 6,1 mètres à 230 kV, 6,5 mètres à 315 kV et 14,1 mètres à 735 kV. A 25 kV, les conducteurs d'une ligne aérienne sont à au moins 9,1 mètres au-dessus du sol alors que les câbles d'un circuit souterrain sont situés à au moins 0,83 mètre sous le niveau du sol.

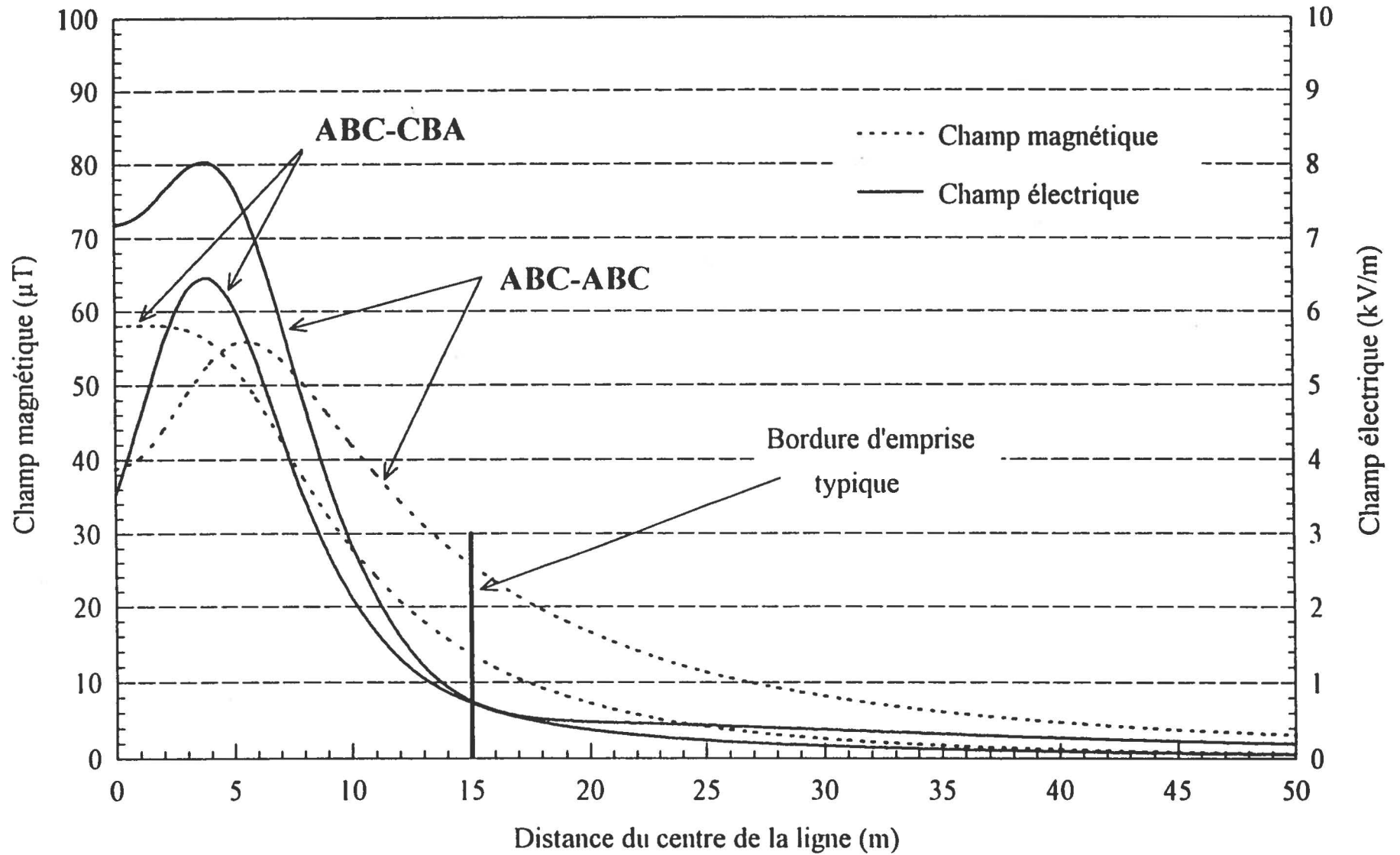
**Figure 1**

**Champ électrique**

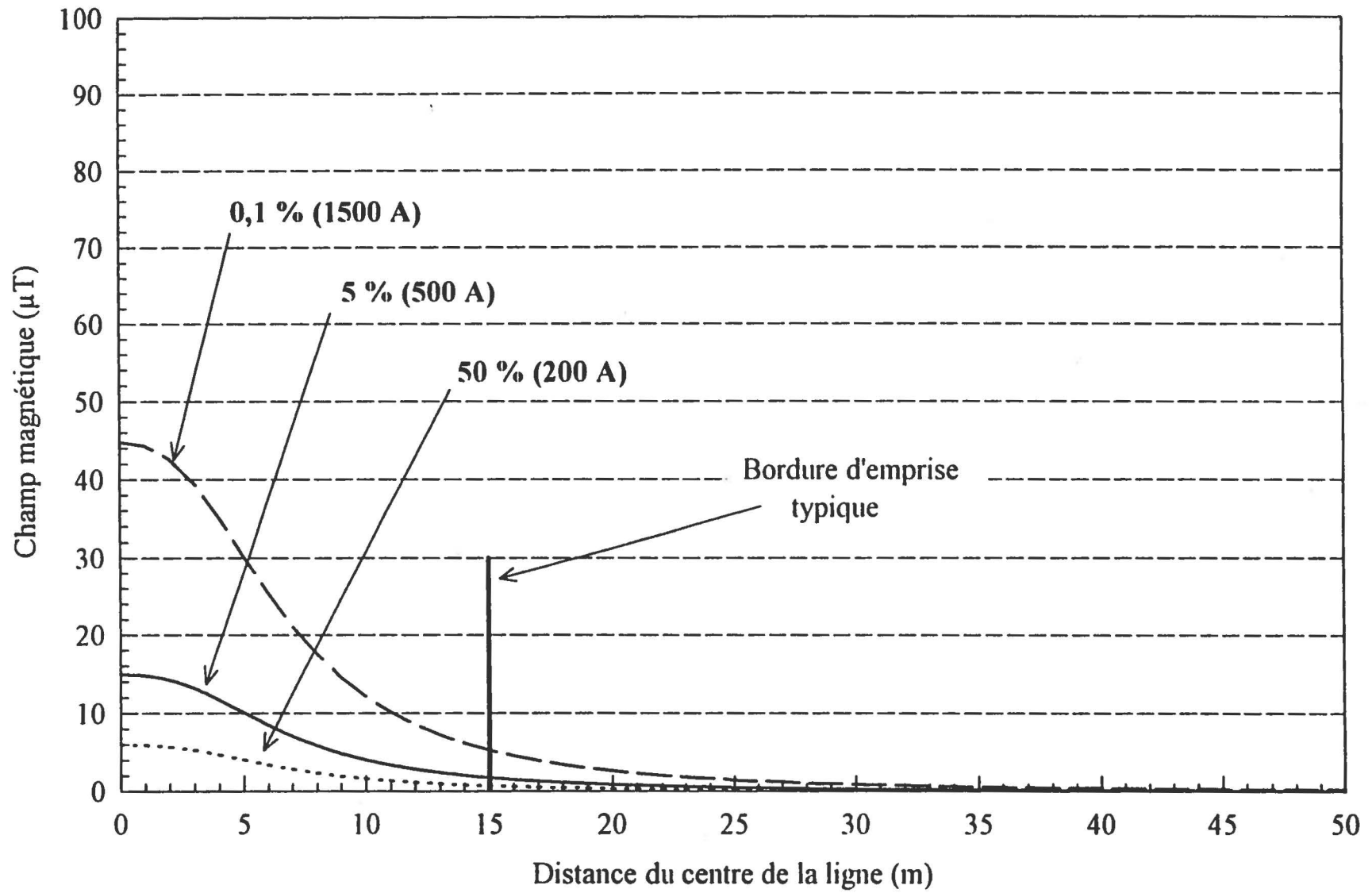
**Lignes de 120 kV à 315 kV biternes (ABC-CBA) et ligne à 735 kV**



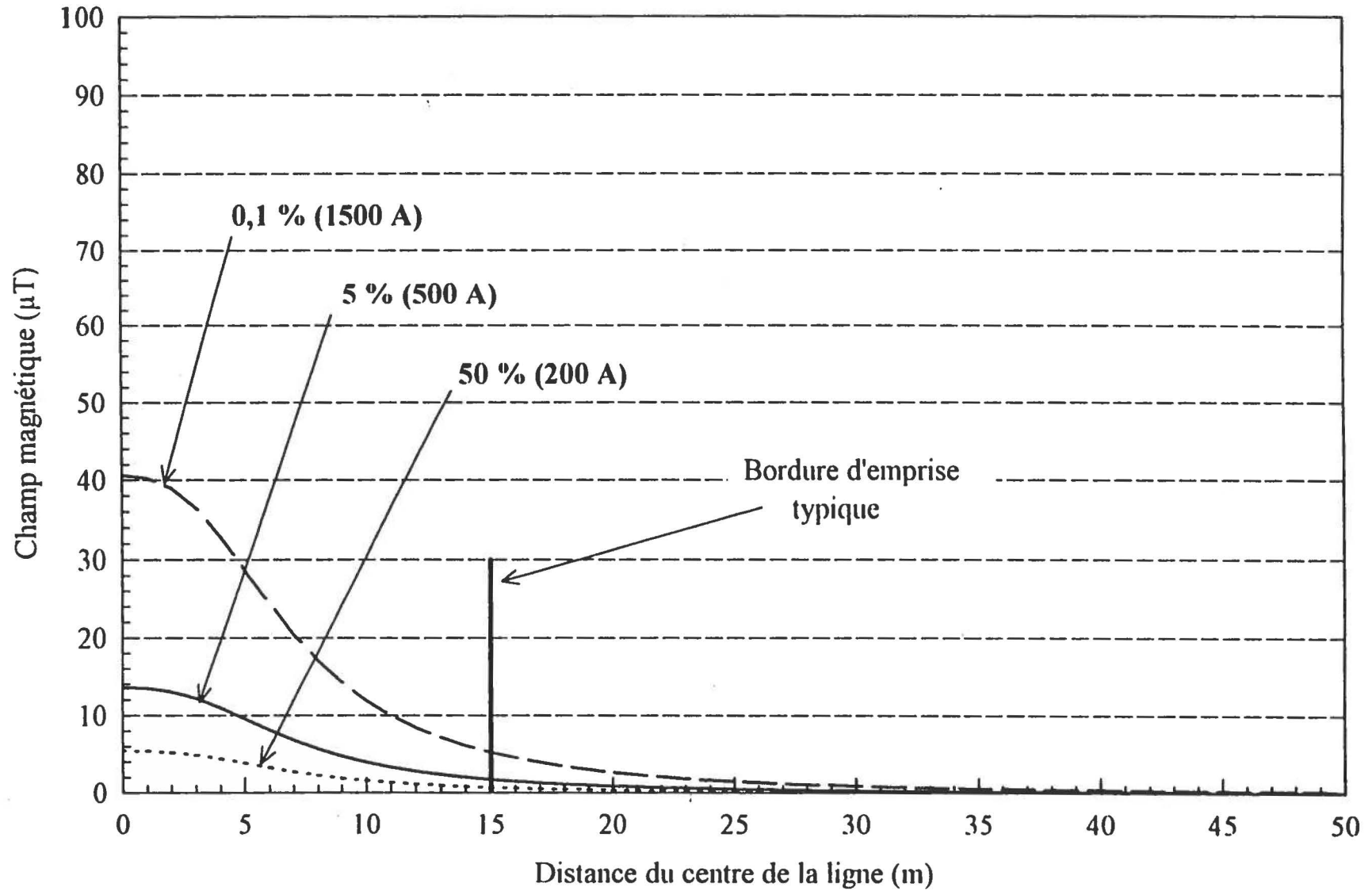
**Figure 2**  
**Effet du phasage sur une ligne à 230 kV biterne**  
**transitant 2000 ampères**



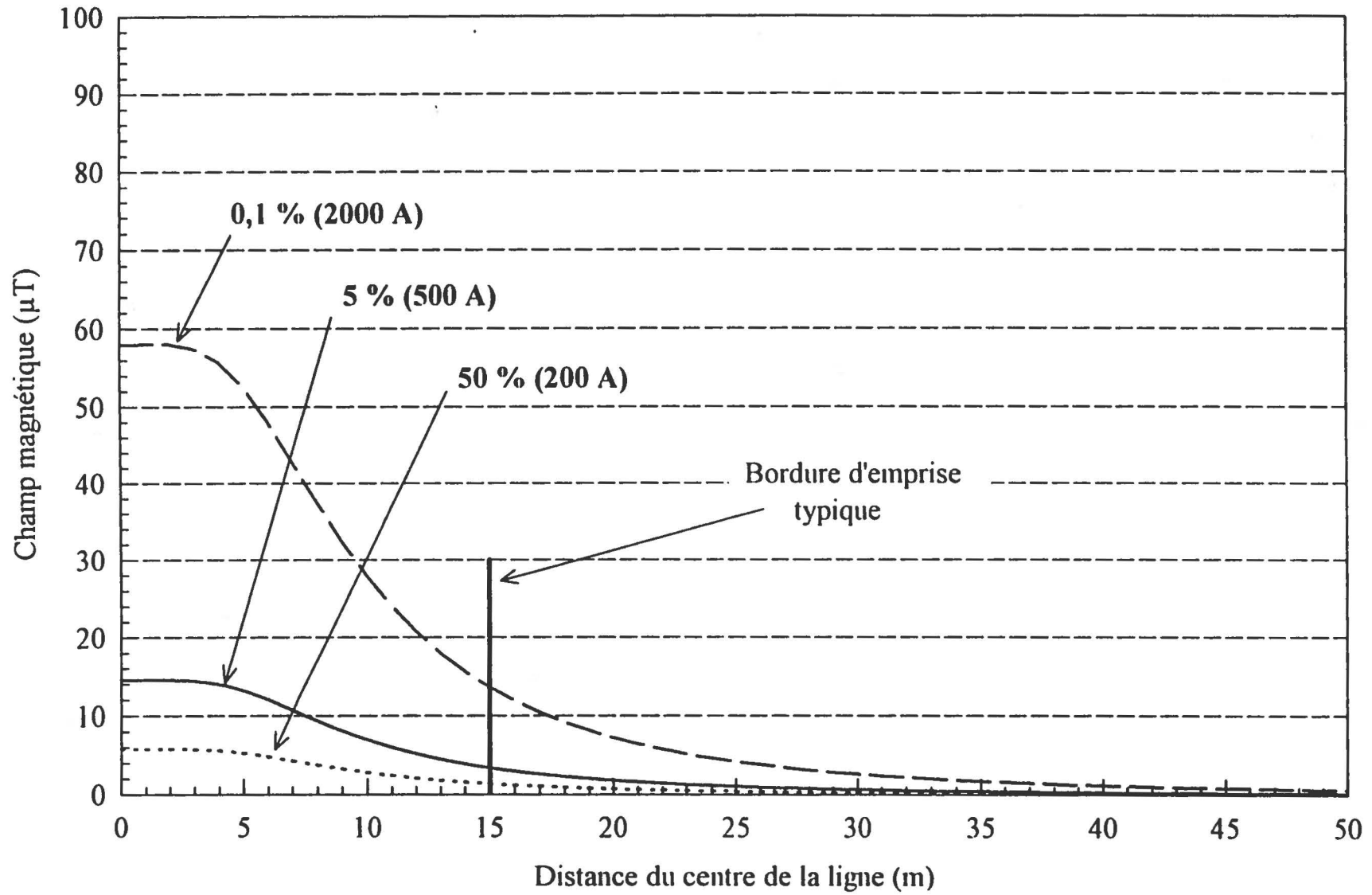
**Figure 3**  
**Champ magnétique**  
**Ligne à 120 kV biterne, ABC-CBA**



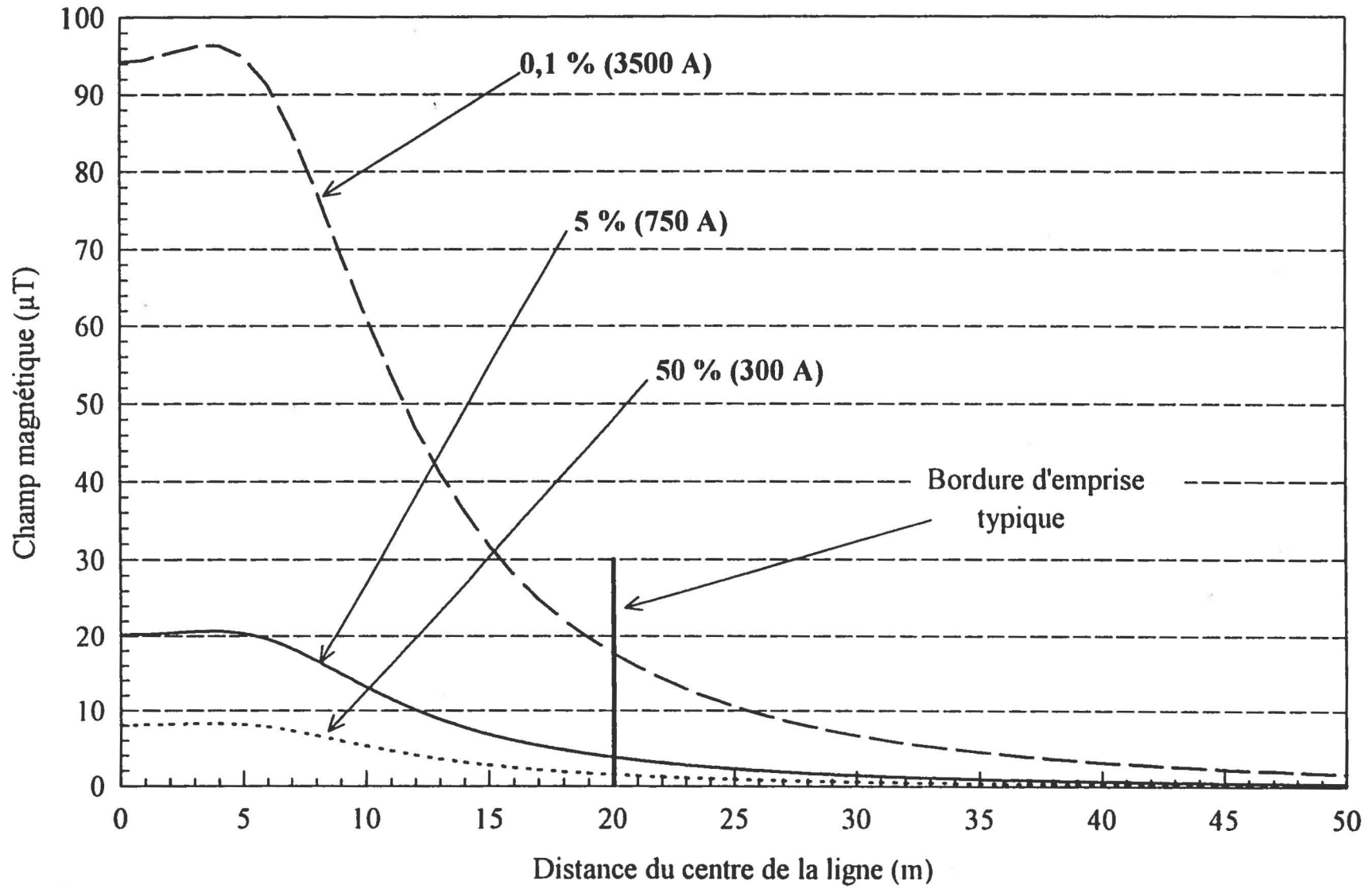
**Figure 4**  
**Champ magnétique**  
**Ligne à 161 kV biterne, ABC-CBA**



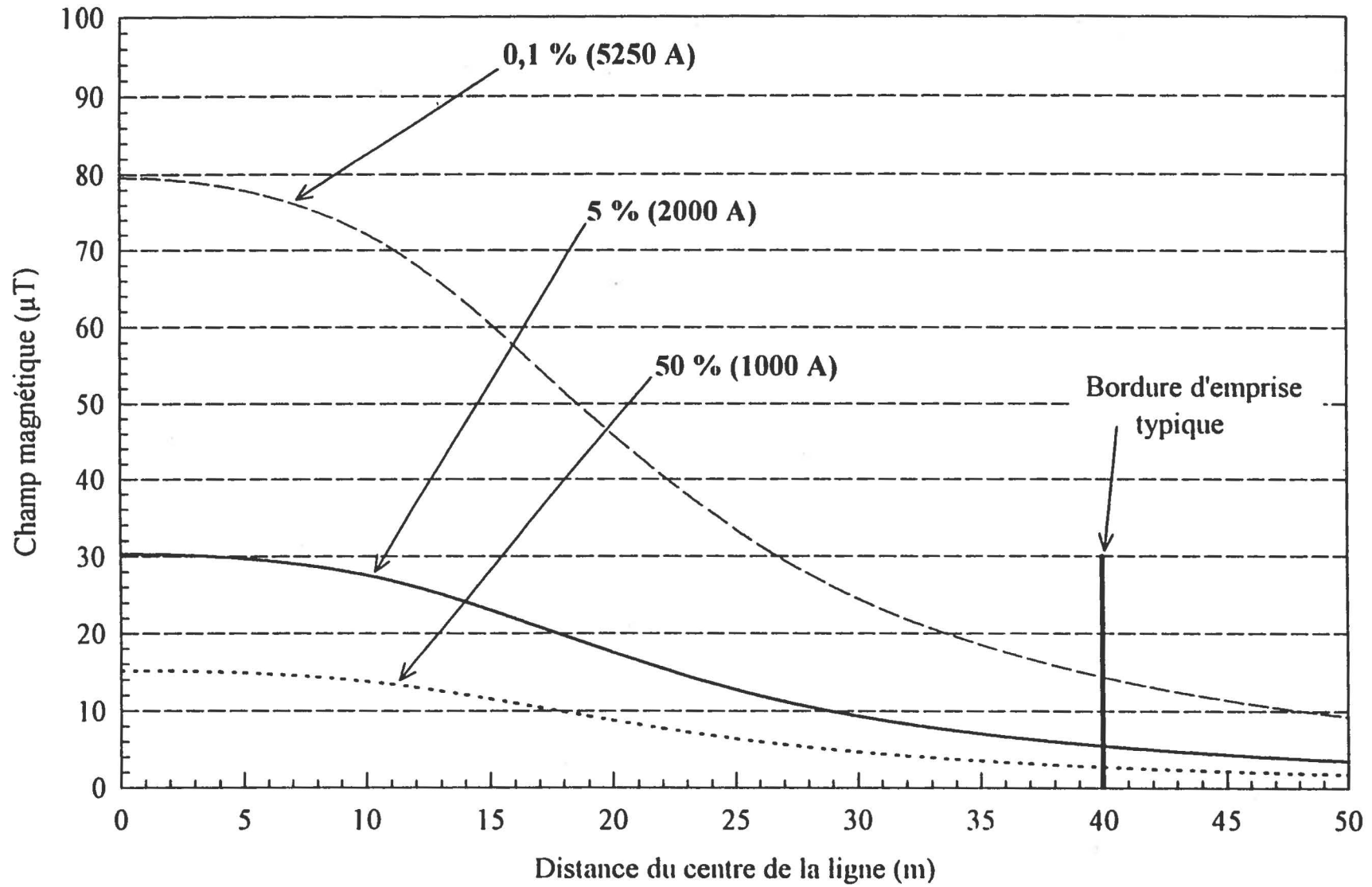
**Figure 5**  
**Champ magnétique**  
**Ligne à 230 kV biterne, ABC-CBA**



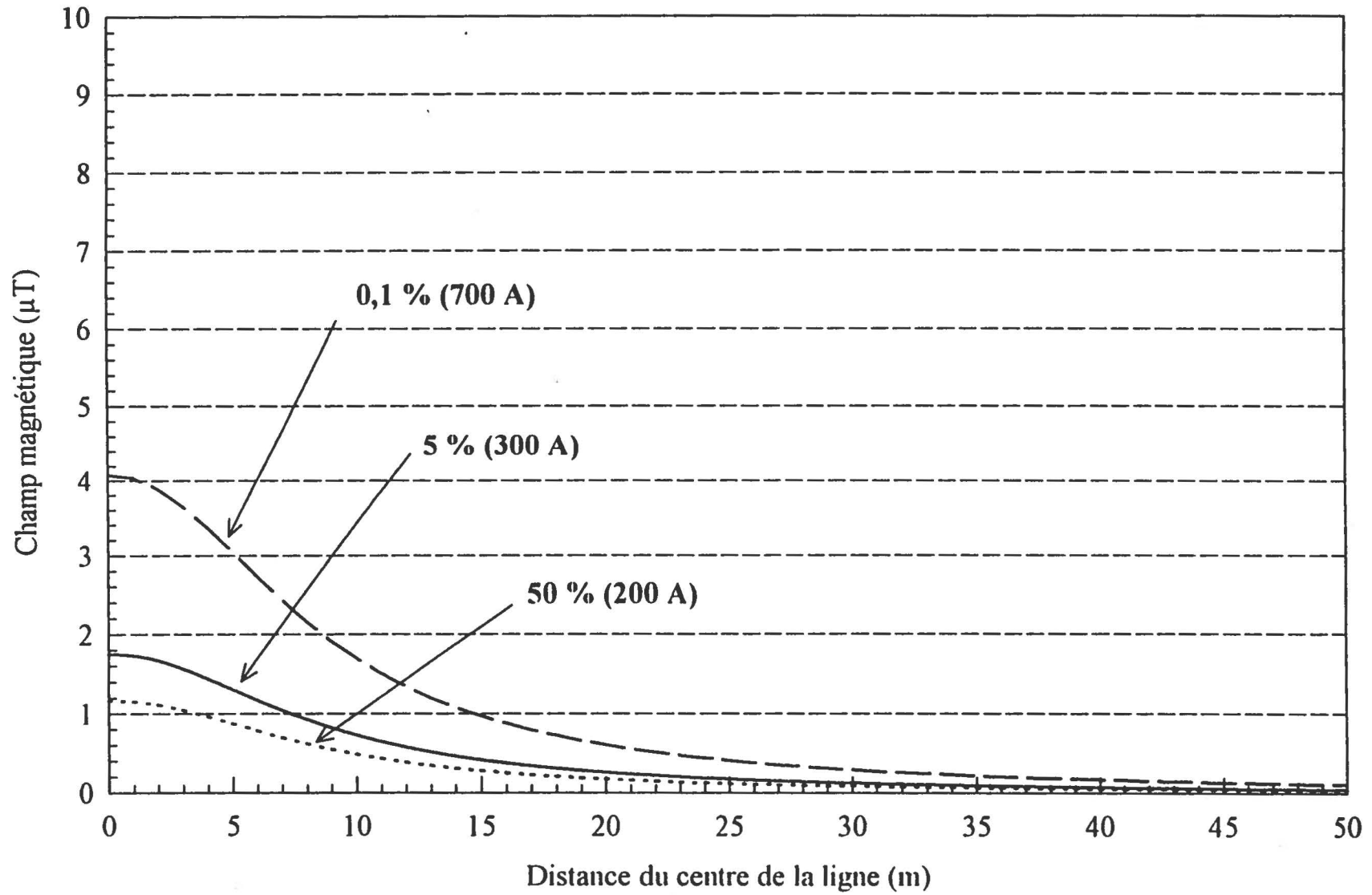
**Figure 6**  
**Champ magnétique**  
**Ligne à 315 kV biterne, ABC-CBA**



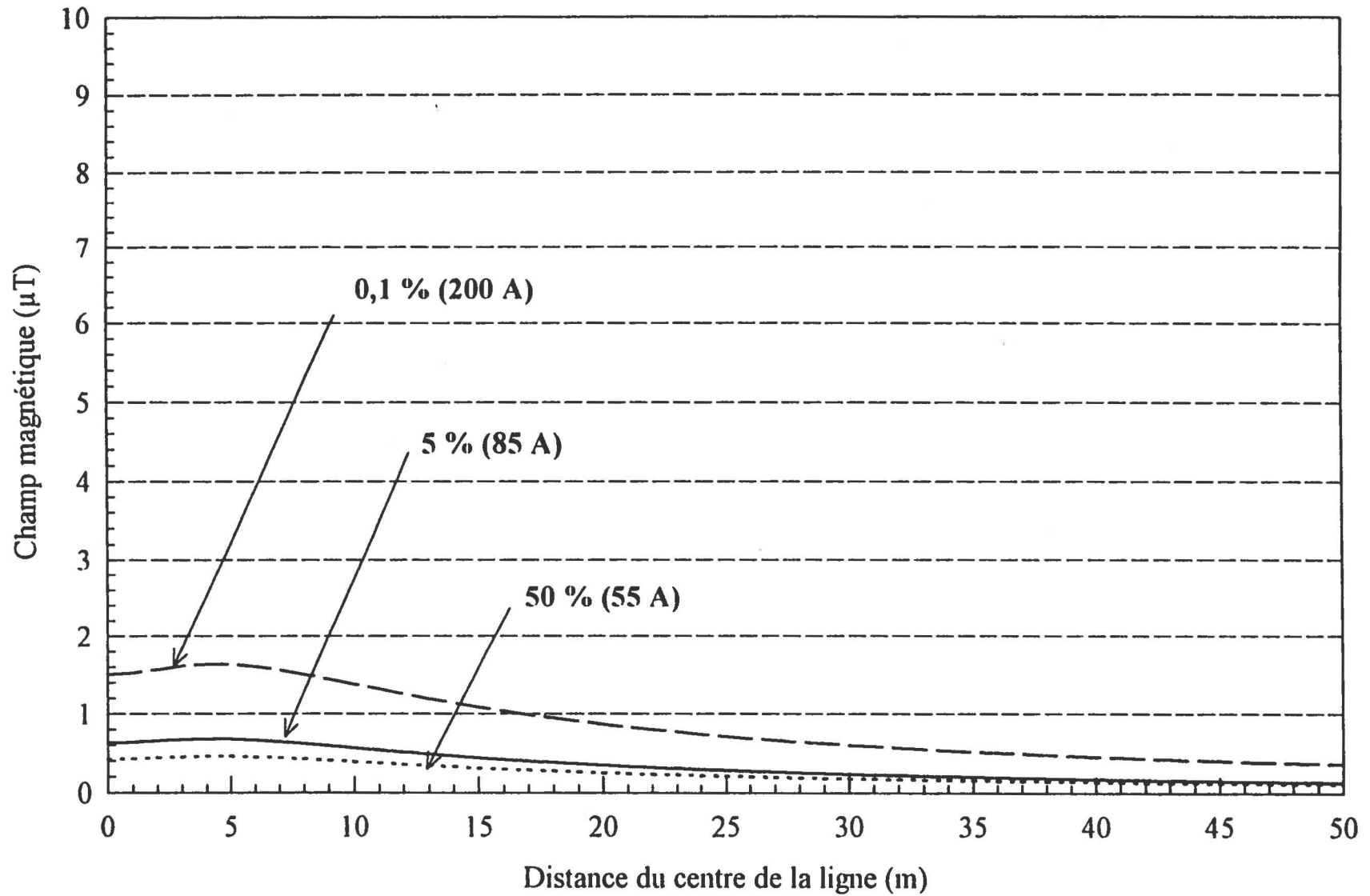
**Figure 7**  
**Champ magnétique**  
**Ligne à 735 kV monoterne**



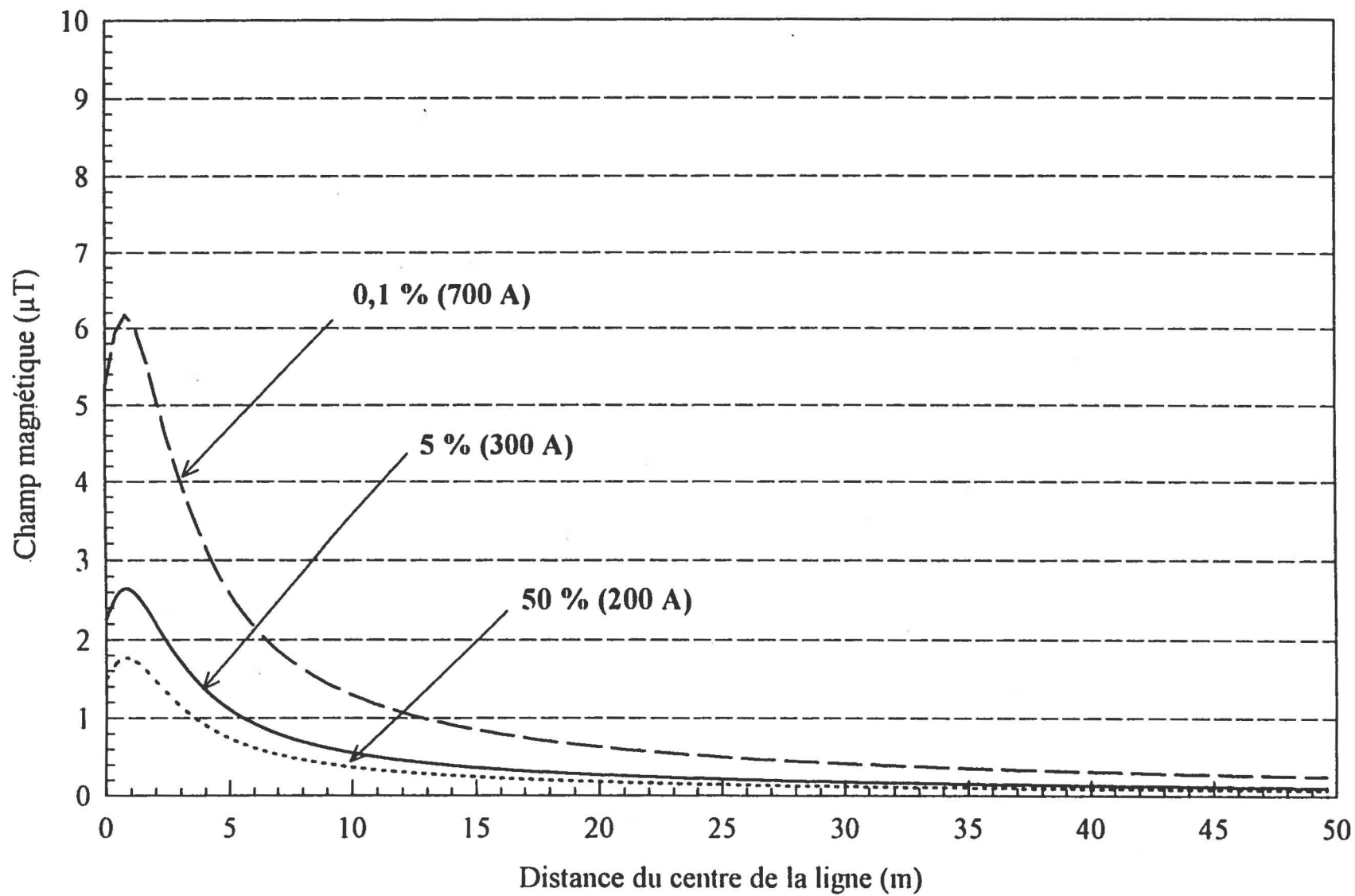
**Figure 8**  
**Champ magnétique**  
**Ligne aérienne triphasée à 25 kV**



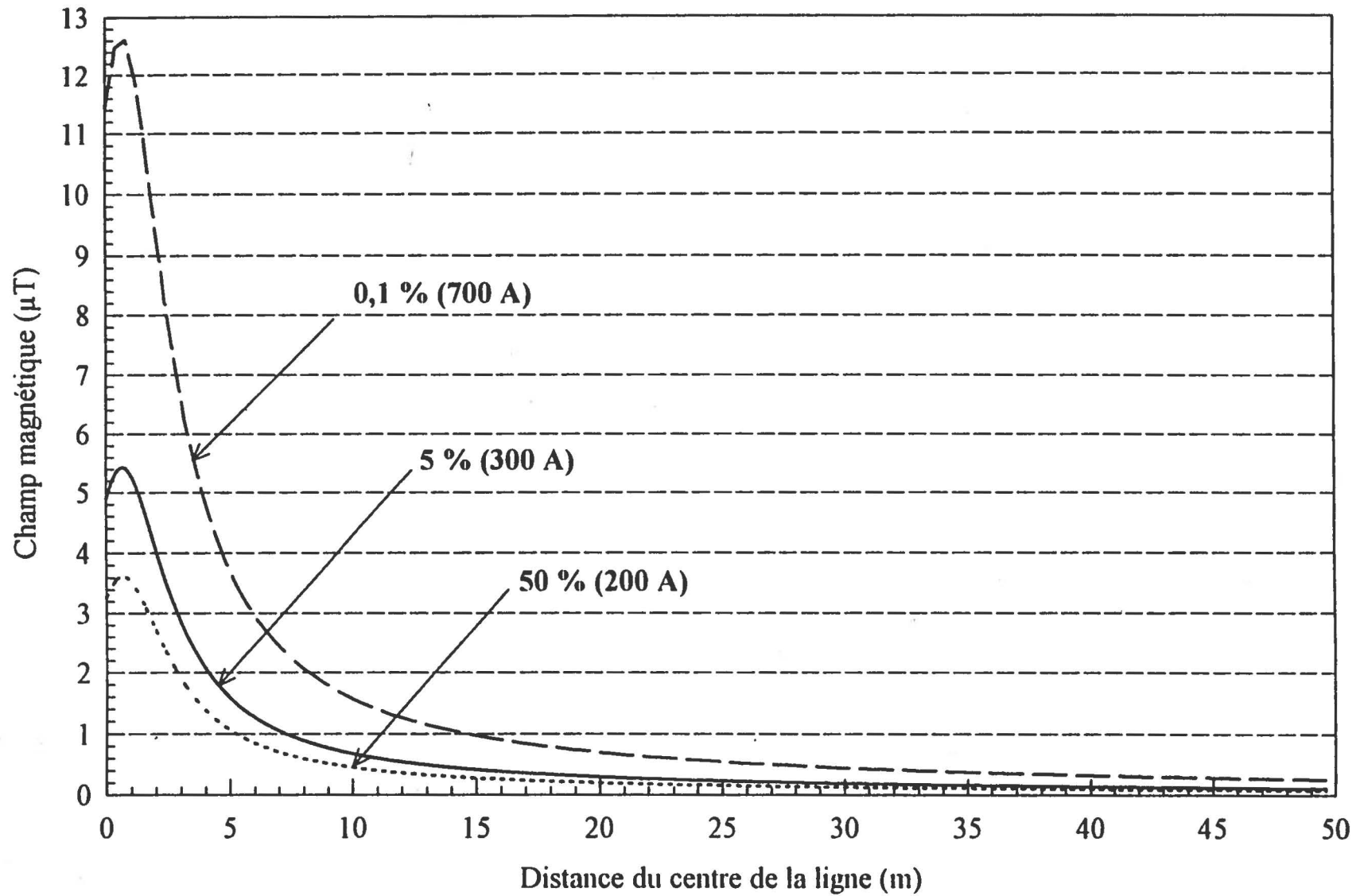
**Figure 9**  
**Champ magnétique**  
**Ligne aérienne monophasée à 25 kV**



**Figure 10**  
**Champ magnétique**  
**1 circuit souterrain triphasé à 25 kV**



**Figure 11**  
**Champ magnétique**  
**Canalisation souterraine à 7 circuits à 25 kV actifs**



**TABEAU 1**

**Intensités maximums des CEM à proximité des lignes d'Hydro-Québec<sup>\*1</sup>**

Type de ligne (kV)	Largeur typique d'emprise (m)	Champ électrique (kV/m)		Champ magnétique <sup>*2</sup> (μT)					
		sous conducteur	bordure emprise <sup>*3</sup>	sous conducteur			bordure d'emprise <sup>*3</sup>		
				0,1% <sup>*4</sup>	5%	50%	0,1%	5%	50%
25 <sup>*5</sup>	5	0,1	0,1	4,1 (700)	1,8 (300)	1,2 (200)	1,7 (700)	0,7 (300)	0,5 (200)
25 <sup>*6</sup>	5	0,3	0,1	1,7 (200)	0,7 (85)	0,5 (55)	1,4 (200)	0,6 (85)	0,4 (55)
25 <sup>*7</sup>	1,5	-	-	6,2 (700)	2,7 (300)	1,8 (200)	1,2 (700)	0,5 (300)	0,3 (200)
25 <sup>*8</sup>	1,5	-	-	13 (700)	5,5 (300)	3,6 (200)	1,5 (700)	0,6 (300)	0,4 (200)
120	30	2,2	0,1	45 (1500)	15 (500)	6,0 (200)	5,3 (1500)	1,8 (500)	0,7 (200)
161	30	2,7	0,1	40 (1500)	13 (500)	5,4 (200)	5,3 (1500)	1,8 (500)	0,7 (200)
230	30	6,5	0,9	58 (2000)	15 (500)	5,8 (200)	14 (2000)	3,4 (500)	1,4 (200)
315	40	8,6	0,7	97 (3500)	21 (750)	8,1 (300)	18 (3500)	3,8 (750)	1,5 (300)
735	80	9,3	1,7	80 (5250)	30 (2000)	15 (1000)	14 (5250)	5,5 (2000)	2,7 (1000)

<sup>\*1</sup>: Les champs électrique et magnétique sont calculés en considérant que les conducteurs de la ligne sont à la hauteur minimale (voir annexe pour méthode de calcul).

<sup>\*2</sup>: Les valeurs de courant dans les conducteurs en ampères sont indiquées entre parenthèses pour chaque intensité de champ magnétique.

<sup>\*3</sup>: Dans le cas des lignes à 25 kV, les champs électrique et magnétique sont donnés à 10 mètres du centre de la ligne plutôt qu'en bordure de l'emprise car celle-ci est trop étroite pour que la valeur y soit significativement différente de celle sous les conducteurs.

<sup>\*4</sup>: Dans le cas des lignes à 25 kV, les pourcentages du temps correspondent à une distribution annuelle du courant de charge. Dans le cas de lignes de répartition et de transport, les pourcentages du temps correspondent à une distribution au cours de la durée de vie utile de la ligne estimée à 50 ans.

<sup>\*5</sup>: Ligne triphasée aérienne

<sup>\*6</sup>: Ligne monophasée aérienne

<sup>\*7</sup>: Ligne triphasée souterraine

<sup>\*8</sup>: Canalisation souterraine contenant sept circuits actifs

**TABLEAU 2**

**Limites des intensités de champs électrique (CE) et magnétique (CM) en bordure d'emprise de lignes à haute tension à 60 Hz.**

	<b>CE (kV/m) efficace</b>	<b>CM (<math>\mu</math>T) efficace</b>
Floride	2 <sup>b,c</sup>	15; 20 <sup>a</sup>
Minnesota	1 <sup>b</sup>	
Montana	1	
New Jersey	3 <sup>b</sup>	
New York	2 <sup>c</sup>	20 <sup>a</sup>
Québec	2 <sup>b</sup>	

a: Lignes 230 à 500 kV

b: Perception de décharges à étincelles ou sensation de fourmillement

c: Statu quo, limites de champs existants en bordure d'emprise

**TABLEAU 3**

**Limites d'exposition des populations aux champs électrique (CE) et magnétique (CM) à des fréquences industrielles (50/60 Hz)**

	<b>CE (kV/m) efficace</b>	<b>CM (<math>\mu</math>T) efficace</b>
NRPB	10-12	1300-1600
IRPA	5 <sup>a</sup> 10 <sup>b</sup>	100 <sup>a</sup> 1000 <sup>b</sup>

IRPA: International Radiation Protection Association

NRPB: National Radiological Protection Board, UK

a: Jusqu'à 24 heures par jour; cette restriction s'applique aux espaces libres dans lesquels le grand public passe une partie importante de la journée (espace de repos, lieux de rencontres etc.).

b: Jusqu'à quelques heures par jour; cette limite peut être dépassée quelques minutes par jour si des précautions sont prises pour empêcher les effets de couplage indirect.