



HAL
open science

Champs électromagnétiques extrêmement basse fréquence en pédiatrie néonatale

Valentin Vassout

► **To cite this version:**

Valentin Vassout. Champs électromagnétiques extrêmement basse fréquence en pédiatrie néonatale. Gynécologie et obstétrique. 2015. dumas-01228063

HAL Id: dumas-01228063

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01228063>

Submitted on 12 Nov 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITE DE VERSAILLES SAINT-QUENTIN-EN-YVELINES

UFR DES SCIENCES DE LA SANTE SIMONE VEIL

Département de maïeutique

MEMOIRE DE DIPLOME D'ETAT DE SAGE-FEMME
DE L'UNIVERSITE DE VERSAILLES SAINT-QUENTIN-EN-YVELINES
DISCIPLINE / SPECIALITE : Maïeutique

Présenté par :

Valentin Vassout

En vue de l'obtention du **Diplôme d'Etat de sage-femme**

<p>Champs électromagnétiques extrêmement basse fréquence en pédiatrie néonatale</p>
--

Soutenu le 29 juin 2015

JURY

Professeur Pascal Boileau, Chef de service réanimation néonatale, CHI Poissy Saint-Germain-en-Laye (Directeur de mémoire)

M. Laurent Le Guyader, Electronicien et membre du réseau WECF

Mme Sophie Prudhomme, sage-femme enseignante, UVSQ

Mme Anne Rousseau, Sage-femme enseignante, UVSQ

Numéro national d'étudiant : 20904188

Avertissement

Ce mémoire est le fruit d'un travail approuvé par le jury de soutenance et réalisé dans le but d'obtenir le diplôme d'Etat de sage-femme. Ce document est mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt toute poursuite pénale.

Remerciements

Je souhaite tout d'abord remercier M Philippe Perrin dont les conseils et les remarques m'ont aidé dans le choix de mon sujet de mémoire.

Je tiens aussi à remercier tout particulièrement M Laurent Le Guyader. La réalisation de ce mémoire n'aurait pas été possible sans ses connaissances sur ce sujet et sans son travail concernant la réalisation de nos mesures. Son engagement pour les sujets liés à la santé et l'environnement m'a permis de bénéficier de remarques et d'explications claires, ainsi que la possibilité d'effectuer mes mesures dans de bonnes conditions tant en terme de matériel que de conditions de réalisation.

Je souhaite aussi remercier le Professeur Pascal Boileau, dont la disponibilité, l'accessibilité et la rigueur m'ont permis de produire un travail de qualité. L'accès aux différents services de réanimation néonatales, soins intensifs, néonatalogie, suites de couche et unité mère-enfant n'aurait pas été possible sans son soutien.

Je remercie aussi toute l'équipe pédagogique du département de maïeutique de l'UVSQ pour sa disponibilité, tant pendant nos études que pendant la réalisation de ce mémoire.

Pour conclure, je remercie Fiona pour sa relecture ainsi que toutes les personnes qui m'ont fait confiance et qui m'ont soutenu dans la réalisation de ce mémoire.

Table des matières

AVERTISSEMENT	II
REMERCIEMENTS	III
TABLE DES MATIERES	IV
LISTE DES FIGURES	VII
LISTE DES ANNEXES	VIII
CHAMPS ELECTROMAGNETIQUES EXTREMEMENT BASSE FREQUENCE EN PEDIATRIE NEONATALE	IX
EXTREMELY LOW FREQUENCY MAGNETIC FIELDS IN NEONATAL DEPARTMENTS	X
1 PREMIERE PARTIE : INTRODUCTION	1
1.1 Généralités	1
1.2 Rappel de physique : les champs électromagnétiques	2
1.2.1 Définitions (5,6)	2
1.2.2 Les différentes sources de champs électromagnétiques (6)	4
1.2.3 Cas particulier : les champs électromagnétiques extrêmement basse fréquence ou « CEMEBF »	5
1.3 Revue de la littérature concernant les champs électromagnétiques extrêmement basse fréquence	6
1.4 Principe de précaution	10
1.5 Recommandations et limites d'exposition sur les CEM	11

2	DEUXIEME PARTIE : MATERIEL ET METHODES	12
2.1	Hypothèses et objectifs	12
2.2	Type et déroulement de l'étude	13
2.2.1	Protocole n°1 : incubateurs médicaux	15
2.2.2	Protocole n°2 : Appareils de photothérapie de type « panneaux »	17
2.2.3	Protocole n°3 : Appareils de photothérapie en « tunnel »	18
2.2.4	Protocole n°4 : Appareils annexes	18
3	TROISIEME PARTIE : RESULTATS	19
3.1	Incubateurs médicaux	19
3.1.1	Dräger Incubator 8000 SC	21
3.1.2	Dräger Incubator 8000 NC	21
3.1.3	Médipréma Satis +	21
3.1.4	Dräger Caléo	21
3.2	Appareils de photothérapie en « panneaux »	22
3.2.1	MMS Multiradia 10	23
3.2.2	Dräger Photo-Thérapie 8000	23
3.2.3	Médipréma Mobi bloo	23
3.3	Appareils de photothérapie en « tunnels »	24
3.3.1	Medestime BiliCrystal IV.2	24
3.3.2	Médipréma O'BLOO 360°	25
3.4	Respirateurs	25
3.5	Appareils de thermorégulation	26
3.6	Appareils annexes	27
4	QUATRIEME PARTIE : DISCUSSION	28
4.1	Résumé et discussion des principaux résultats	28
4.2	Forces de l'étude	32



4.3	Limites et biais	33
4.4	Implications	35
4.5	Perspectives et suite de l'étude	36
	CONCLUSION	38
	BIBLIOGRAPHIE	40



Liste des figures

FIGURE 1 : SCHEMA MATELAS INCUBATEUR MEDICAL	15
FIGURE 2 : INCUBATEURS	19
FIGURE 3 : APPAREILS DE PHOTOTHERAPIE EN "PANNEAUX"	22
FIGURE 4 : APPAREILS DE PHOTOTHERAPIE EN "TUNNELS"	24
FIGURE 5 : RESPIRATEURS	25
FIGURE 6 : APPAREILS DE THERMOREGULATION	26
FIGURE 7 : AUTRES APPAREILS ANNEXES	27
FIGURE 8 : COMPARAISON DES VALEURS MAXIMALES MESUREES AU SEIN DES INCUBATEURS	28
FIGURE 9 : COMPARAISON DES VALEURS MESUREES AU CENTRE DU MATELAS DES INCUBATEURS	29
FIGURE 10 : COMPARAISON DES APPAREILS DE PHOTOTHERAPIE EN "PANNEAUX"	30
FIGURE 11 : COMPARAISON DES APPAREILS DE PHOTOTHERAPIE EN "TUNNELS"	31

Liste des annexes

ANNEXE 1 : DONNEES BRUTES RESPIRATEURS	43
ANNEXE 2 : DONNEES BRUTES APPAREILS DE THERMOREGULATION	44
ANNEXE 3 : DONNEES BRUTES APPAREILS ANNEXES	45
ANNEXE 4 : CLASSIFICATION DES SUBSTANCES CANCEROGENES PAR LE CIRC	46



Champs électromagnétiques extrêmement basse fréquence en pédiatrie néonatale

Objectifs : L'objectif principal de cette étude était d'effectuer des mesures de champs électromagnétiques extrêmement basse fréquence (CEMEBF) au sein et aux abords de divers appareils médicaux se trouvant dans différents secteurs de néonatalogie afin d'évaluer le niveau d'émission de CEMEBF par ces appareils. L'objectif secondaire était de fournir des outils pratiques aux professionnels de santé, afin de satisfaire au principe de précaution en diminuant l'exposition des nouveau-nés aux CEMEBF sans augmenter leur charge de travail.

Matériel et méthodes : Nous avons créé des protocoles spécifiques différents selon le type d'appareil testé. Toutes les mesures ont été réalisées à l'aide d'un mesureur de champs ME3951A basse fréquence au CHI de Poissy St-Germain-en-Laye.

Résultats et conclusion : Il existe une très grande variabilité dans les niveaux d'émission de ces appareils, et ce, y compris au sein d'une même catégorie d'appareil. La majorité des incubateurs médicaux testés montrent des niveaux d'émission supérieurs à 400 nT dans au moins une zone de l'habitable. Les appareils de photothérapie en « panneaux » montrent des niveaux d'émission rassurants et les appareils de photothérapie en « tunnels » montrent un gradient d'émission qui diminue au fur et à mesure que l'on s'approche de l'avant de l'appareil. Les autres appareils testés nous fournissent l'information que le respect d'une distance de sécurité d'environ 40 cm est suffisant dans la majorité des cas pour ne pas exposer les nouveau-nés à des CEMEBF supérieurs à 400 nT.

Mots-clés : CEMEBF, champs électromagnétiques extrêmement basse fréquence, leucémie, incubateur, pédiatrie néonatale



Extremely low frequency magnetic fields in neonatal departments

Objective : The main objective of this study was to perform CEMEBF measures within and around various medical devices in different neonatal departments, in order to evaluate the CEMEBF emission level of these devices. The secondary objective was to provide practical tools for health professionals, enabling them to meet the precautionary principle by reducing the exposure of children to CEMEBF without increasing their workload.

Methods : We created different specific protocols based on the type of device tested. All measurements were carried out using a measuring low frequency fields ME3951A at CHI Poissy St-Germain-en-Laye.

Results and conclusion : There is considerable variability in the emission levels of these devices, and those, even within the same appliance category. The majority of incubators medical tested show higher emission levels at 400 nT in, at least, one region of the incubator. Phototherapy devices for "panels" show reassuring emission levels. Phototherapy devices in "tunnels" show an emission gradient which decreases gradually when approaching the front of the device. The other tested devices provide us the information that respecting a safety distance of about 40 cm is sufficient in most cases not to expose children to higher CEMEBF 400 nT.

Keywords : extremely low frequency magnetic fields, childhood leukemia, pediatrics, ELF, incubator, neonatal

1 Première partie : Introduction

1.1 Généralités

La santé liée à l'environnement est un sujet de santé publique pour lequel les études et les découvertes peuvent impliquer de grands bouleversements. Il s'agit d'une approche relativement récente de la médecine qui consiste à identifier des agents potentiellement nocifs pour la santé à plus ou moins long terme afin de prévenir leurs potentiels effets délétères sur la santé. Actuellement, il est démontré qu'il existe une relation causale entre l'exposition à certains facteurs environnementaux et l'apparition de maladies. Ainsi, on peut notamment citer l'amiante, les pesticides ou encore les rayonnements UV émis par le soleil. (1–3)

Parmi les agents étudiés, se trouvent les champs électromagnétiques. Ces derniers font l'objet de nombreux débats scientifiques en ce qui concerne leur hypothétique nocivité via les antennes relais, téléphones portables, bornes Wi-Fi, etc. L'étude des effets potentiellement causés par les champs électromagnétiques sur la santé apparaît aujourd'hui comme fondamentale. En effet, les champs électromagnétiques sont omniprésents dans notre quotidien et les expositions tendent à augmenter.

Au sein du spectre électromagnétique, on peut décrire différents types de champs magnétiques en fonction de leurs fréquences. Aux plus basses fréquences, se trouvent les champs magnétiques extrêmement basse fréquence (CEMEBF). Ces CEMEBF sont identifiés par certains auteurs comme des facteurs de risque soupçonnés d'augmenter le risque d'apparition de leucémie de l'enfant. Pour rappel, il s'agit des cancers les plus fréquents chez l'enfant (470 nouveaux cas par an en France). (4)

1.2 Rappel de physique : les champs électromagnétiques

1.2.1 Définitions (5,6)

Notion de champ : le concept de champ est général et permet de rendre compte de forces exercées à distance sur un objet. Ces forces sont à l'origine d'un échange d'énergie entre l'objet et l'environnement (le champ de gravitation terrestre traduit l'existence d'une force dirigée vers le centre de la terre qui s'applique sur tout objet possédant une masse).

Champ électrique : Tout conducteur électrique sous tension produit un champ électrique (une lampe branchée et éteinte produit un champ électrique). L'intensité du champ électrique se mesure en Volt par mètre (V/m) et ce champ est d'autant plus intense que la tension est élevée. Ce champ diminue rapidement avec la distance. La présence de murs, d'arbres, de bâtiments ou de conducteurs métalliques peut constituer un blindage efficace aux champs électriques (une ligne de transport d'électricité enterrée produit un champ électrique quasiment nul au sol).

Le champ électrique (E) est proportionnel à la charge (q) qui le crée par la relation :

$$E = (k.q) / r^2$$

Où :

- E : champ électrique (V/m)
- k : constante
- q : charge électrique (V)
- r : distance qui sépare la charge qui crée le champ de l'endroit où le champ est mesuré (m)

Champ magnétique : à l'inverse des champs électriques, les champs magnétiques n'existent que lorsque le courant circule et sont d'autant plus intenses que le courant est élevé (une lampe branchée doit être allumée pour qu'il existe un champ magnétique). Ainsi, si un champ magnétique existe, un champ électrique existe aussi. L'intensité du champ magnétique se mesure en Ampère par mètre



(A/m). En pratique, il est courant d'utiliser une autre grandeur : la densité de flux magnétique ou induction magnétique (notée B). Elle s'exprime en Teslas (T).

Le champ magnétique et l'induction magnétique sont reliés, dans un matériau donné, par la relation suivante, appelée « constitutive » (7) :

$$\mathbf{B} = \mu \cdot \mathbf{H}$$

Où :

- B : induction magnétique (Teslas)
- μ : perméabilité magnétique du matériau (exprimée en Henry/mètre)
- H : champ magnétique (Ampère/mètre)

Tout comme pour le champ électrique, l'intensité maximale d'un champ magnétique est retrouvée à proximité immédiate d'un émetteur et diminue rapidement avec la distance ($1/r^2$). Cependant, à l'inverse des champs électriques, les conducteurs métalliques, les arbres, murs et bâtiments ne constituent pas un blindage efficace aux champs magnétiques.

Champ électromagnétique : un champ électromagnétique est composé d'un champ électrique et d'un champ magnétique oscillant ensemble à la même fréquence. Ces deux champs sont perpendiculaires l'un par rapport à l'autre et se propagent dans un milieu selon une direction orthogonale. La propagation de ces ondes s'effectue à une vitesse qui dépend du milieu ($3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ dans le vide). (5)

Plusieurs grandeurs physiques caractérisent une onde électromagnétique :

- **La longueur d'onde (λ)** : elle exprime le caractère oscillatoire périodique de l'onde dans l'espace. Il s'agit de la longueur d'un cycle pour une onde donnée. On la mesure en mètre (m).
- **La période (T)** : elle représente le temps nécessaire pour qu'une onde effectue un cycle. On la mesure en seconde (s).
- **La fréquence (f)** : il s'agit de l'inverse de la période. Elle traduit le nombre de cycles par unité de temps et s'exprime en Hertz (Hz). Pour repère, un Hz équivaut à une oscillation par seconde.

La longueur d'onde et la fréquence sont inversement proportionnelles et unies par la relation suivante :

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Où :

- λ : longueur d'onde de l'onde électromagnétique
- c : vitesse de la lumière ($3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$)
- f : fréquence de l'onde

Enfin, les ondes électromagnétiques sont transportées par des « particules » ou « grains d'énergie » appelés quanta. Plus une onde est de « haute fréquence » plus les quantas véhiculent d'énergie. A l'inverse, plus une onde est de « basse fréquence », moins les quantas véhiculent d'énergie. Cette notion permet de différencier les « rayonnements ionisants » et les « rayonnements non ionisants ».

- **Rayonnements ionisants** : le quantum d'énergie est très élevé et est capable de briser les liaisons intra et intermoléculaires (rayons X, rayons Gamma, rayons cosmiques)
- **Rayonnements non ionisants** : le quantum d'énergie est trop faible pour détruire les liaisons intra et intermoléculaires (rayonnements induits par l'activité électrique ou par les transmissions d'informations)

1.2.2 Les différentes sources de champs électromagnétiques (6)

Les champs électromagnétiques peuvent être d'origines diverses et constituent le spectre électromagnétique.

- **Les champs électromagnétiques d'origine naturelle** : champ magnétique terrestre qui oriente l'aiguille d'une boussole ou encore le champ électrique qui existe lors d'un orage. Il existe aussi de nombreux champs électromagnétiques générés par la matière vivante. En effet, le cœur et le cerveau génèrent des champs électromagnétiques. Ce sont ces champs qui



sont détectés en magnétoencéphalographie ou lorsque l'on fait des électrocardiogrammes. (7)

- **Les champs électromagnétiques d'origine artificielle** : rayons X utilisés en radiologie médicale, transmission d'informations à l'aide d'antennes de télévision ou de téléphonie. De plus, il existe un champ magnétique d'extrêmement basse fréquence au niveau de tout fil parcouru par du courant électrique.

1.2.3 Cas particulier : les champs électromagnétiques extrêmement basse fréquence ou « CEMEBF »

On appelle champs extrêmement basse fréquence ou « CEMEBF », la « gamme des champs [...] définie par le domaine fréquentiel suivant : $0 \text{ Hz} < f < 10 \text{ kHz}$ » (7) (8) où f est la fréquence du champ magnétique. A la différence des champs hautes fréquences, le champ électrique et le champ magnétique n'ont pas toujours de relation directe l'un avec l'autre (par exemple au niveau d'une prise de courant sur laquelle aucun appareil n'est branché). (7)

Les CEMEBF sont principalement associés à la production, au transport et à l'utilisation de l'énergie électrique (lignes à haute-tension, transformateurs électriques, câblages et appareils électriques domestiques dans lesquels passe du courant électrique alternatif 50 Hz). (9) Ainsi, tout appareil électrique branché sur le secteur émet des CEMEBF (radio réveil, grille-pain, lave linge, bouilloire électrique etc.)

Les différents types d'appareillage médicaux utilisés en néonatalogie (incubateurs, respirateurs, appareils de photothérapie, pousse seringues etc.) sont des appareils comparables à un appareil électrique domestique. Ils sont constitués de moteurs électriques, de résistances, de ventilateurs et de câbles. Ce constat nous amène à les considérer comme des émetteurs potentiels de CEMEBF.



1.3 Revue de la littérature concernant les champs électromagnétiques extrêmement basse fréquence

La responsabilité des CEMEBF a été évoquée pour la première fois en 1979 par Wertheimer et Leeper à partir d'observations sur le câblage électrique alimentant le domicile. Cette étude était la première à émettre l'hypothèse qu'il existe un lien entre l'apparition de leucémies infantiles et l'exposition aux champs magnétiques. (10) Cette étude était fondée sur une estimation de l'exposition calculée à partir d'un code de câblage appelé « Wire codes ». Le but de cette étude était de classer les logements en fonction de leur distance à un type de source de transport de courant afin de déterminer 4 à 5 classes d'expositions croissantes. L'avantage de cette méthode de calcul était la possibilité d'obtenir un fort taux de participation (il n'était pas nécessaire d'avoir accès aux domiciles des participants). Cependant, cette méthode ne fournissait qu'une estimation peu précise de l'exposition car elle ne prenait en compte que les champs magnétiques générés par le système de distribution visible de l'électricité sans prendre en compte le câblage au sein de l'habitation ou encore les appareils électriques domestiques présents dans l'habitation. (11)

Par la suite, plusieurs méthodes de calcul permettant d'estimer l'exposition de manière plus précise ont été utilisées. On retiendra les méthodes d'estimation de l'exposition fondées sur la calcul théorique du champ magnétique à partir des caractéristiques des lignes électriques (intensité du courant, distance entre les conducteurs) (Vistnes et al. 1997, Feychting et Ahlbom 1993). L'inconvénient de ce type d'étude est qu'elles ne prenaient pas en compte le temps de présence des enfants au sein de l'habitation. D'autres études ont utilisé l'historique de la charge de la ligne électrique afin de calculer une estimation de l'exposition durant les deux années précédant le diagnostic de leucémie quand l'enfant avait changé de domicile pendant cette période (McBride et al. 1999). (11) Enfin, les estimations d'exposition furent calculées à partir de mesures réelles, soit en des lieux donnés (principalement dans la chambre des sujets), soit grâce à des mesures personnelles à l'aide de magnétomètres portatifs. L'inconvénient des mesures en des lieux donnés était que



les mesures obtenues pourraient être mal représentatives de l'exposition réelle (Schoenfeld et al, 1999, Dockerty et al, 1999, London et al, 1991, McCurdy et al, 2001). Cependant, il a été démontré par la suite que cette estimation était une évaluation fiable de l'exposition réelle car il existe une bonne corrélation entre la mesure fixe et la dose totale enregistrée avec des magnétomètres portatifs individuels (Friedmann et al. 1996, Eskelinen et al, 2002, Huyn et al. 2004). Les mesures personnelles en continue (24-48h) effectuées grâce à des magnétomètres portatifs semblent apporter un meilleur indicateur de l'exposition si la mesure est effectuée au moment du diagnostic de la maladie (Mc Bride, 1999) mais semblent moins pertinentes pour mesurer une exposition passée. (11)

En 2000, deux méta-analyses indépendantes ont montré une association avec un doublement du risque de leucémie chez l'enfant avec des expositions des ménages aux champs magnétiques de 0,4 μ T ou plus.

La première méta-analyse de ce type a été réalisée en 2000 par Ahlbom et al. Cette méta-analyse était fondée sur les 9 principales études existantes sur le sujet, présentant toutes de bonnes qualités méthodologiques. Les résultats de cette méta-analyse ont montré qu'il n'existe pas d'augmentation du risque de leucémie de l'enfant pour des expositions inférieures à 0,4 μ T mais qu'au dessus de 0,4 μ T, le risque de leucémie de l'enfant est multiplié par deux (OR = 2.0 (1.3-3.3)) (12)

La seconde méta-analyse a été réalisée par Greenland et al en 2000 sur 15 études avec des critères d'inclusion moins restrictifs et montre une augmentation du risque de leucémie de l'enfant multiplié par 1,7 pour des expositions supérieures à 0,3 μ T (OR = 1.7 (1.2-2.3)) (13) Il est important de noter que ces valeurs de 0,4 μ T et 0,3 μ T représentent des valeurs moyennes pondérées sur toute la durée d'exposition. De plus, aucune des deux méta-analyses ne met en évidence de relation dose-risque. (9)

Cependant, il « n'existe actuellement aucune preuve que l'exposition aux CEMEBF puisse affecter les processus biologiques ». Ce résultat est à nuancer avec l'existence de deux processus qui méritent une attention particulière : la « synergie de CEMEBF et de facteurs chimiques et physiques ainsi que l'influence du potentiel génétique sur la réponse aux CEMEBF ». (11)



Enfin, les différentes études expérimentales menées chez l'animal ou au niveau cellulaire ne retiennent pas l'hypothèse que les CEMEBF augmentent le risque de cancer chez l'animal. Cependant, les conséquences sur la santé humaine sont impossibles à prévoir car les mécanismes peuvent être différents : « un mécanisme intervenant sur une espèce animale peut n'avoir aucun effet chez l'homme » (11) et inversement.

Ce sont ces constats qui ont amené le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC ou IARC) a classé, en 2002, les CEMEBF dans le groupe 2B des agents possiblement cancérigènes en dépit de l'absence d'arguments expérimentaux (9,14). Cette classification prend en compte à la fois « l'absence de certitudes quant aux dangers des CEMEBF mais aussi l'importance du faisceau de présomptions en faveur de la cancérigénicité des champs » (11)

En 2005, Draper et al ont rapporté une augmentation du risque de 1,7 (OR = 1.7 (1.1-2.5)) pour les enfants vivant à moins de 200 m de lignes à haute tension. Ce résultat est intéressant puisqu'il correspond à des champs plus faibles que ceux mis en cause par les méta-analyses. Draper et al concluent qu'environ 1% des leucémies britanniques pourraient être imputables à ces expositions. (9,15)

En 2006, une étude Japonaise est venue apporter des estimations du même ordre : OR = 2,63 pour des expositions supérieures à 0,4 μ T. Ce résultat prenait en compte tous les types de leucémie (leucémie aiguë myéloblastique et leucémie aiguë lymphoblastique). Pour la leucémie aiguë lymphoblastique, l'OR était de 4,73 (IC 95% : 1,14 à 19,7), en revanche, le risque n'était pas augmenté pour la leucémie aiguë myéloblastique. (16)

En 2010, une nouvelle méta-analyse a été publiée. Elle était fondée sur les données provenant d'études sur les champs magnétiques résidentiels publiées après 2010. Cette méta-analyse rapportait une augmentation du risque de 1.44 pour les expositions supérieures ou égales à 0,3 μ T (OR = 1.44 (IC 95% : 0.9-2.4)). Leurs résultats étaient donc cohérents avec les méta-analyses de 2000 mais l'association retrouvée était plus faible. Leurs conclusions furent que les résultats des récentes études ne modifiaient pas les évaluations précédentes, à savoir que les CEMEBF sont des agents cancérigènes possibles.



Plus récemment, l'étude GEOCAP qui analyse le rôle dans les cancers de l'enfant de plusieurs expositions environnementales rapportait un risque multiplié par 1,7 de développer une leucémie pour les enfants vivant à moins de 50 m d'une ligne à très haute tension (OR = 1.7 (0.9-3.6)) (17)

Enfin, en 2008, une étude a été menée afin de déterminer si les CEMEBF émis par les incubateurs médicaux étaient capable d'influencer le système nerveux autonome des nouveau-nés. Ils ont ainsi étudié la variabilité de la fréquence cardiaque des nouveau-nés pendant trois phases de cinq minutes chacune où l'incubateur était allumé, puis éteint et de nouveau allumé. Le groupe soumis à ces trois phases était composé de 27 nouveau-nés et le groupe témoin était composé de 16 nouveau-nés soumis uniquement à un bruit de fond qui reproduisait le bruit de l'incubateur en fonctionnement, mais sans émission de CEMEBF. Ils ont ainsi observé une augmentation significative de la variabilité de la fréquence cardiaque des nouveau-nés lorsque l'incubateur était allumé et un retour à la valeur de base lorsque l'incubateur a été éteint. Ils n'ont observé aucune modification de la variabilité de la fréquence cardiaque des nouveau-nés dans le groupe témoin. Cette étude conclut que les CEMEBF influencent la variabilité de la fréquence cardiaque des nouveau-nés, montrant par conséquent une influence sur leur système nerveux autonome. (18)

Au vu de la présentation des différentes grandes études sur les CEMEBF, on peut aisément comprendre pourquoi ceux-ci sont au cœur de questionnements et de débats sur leur dangerosité et sur la nécessité de prendre ou non des mesures préventives. Effectivement, un certain nombre de biais parmi les études réalisées et le manque de connaissances face aux facteurs favorisant la survenue d'une leucémie de l'enfant ne nous permet pas d'établir de lien de causalité. Cependant, il est difficile de croire que cette augmentation du risque observée dans de nombreuses études soit le seul fait du hasard.



1.4 Principe de précaution

Toute la légitimité de cette étude repose sur l'application du principe de précaution. Le principe de précaution est un outil qui peut être utilisé pour protéger une population contre un danger possible. Plusieurs définitions ont été utilisées, en voici deux exemples :

- « En cas de menace de dommages sérieux et irréversibles, l'incertitude ne doit pas être une raison pour retarder l'action qui permettrait d'éviter ces dommages. » Cette définition utilisée lors de la déclaration de Bergen en 1990 soulève un point important : l'incertitude ne justifie pas l'inaction. Cependant, cette définition ne fournit pas de règles précises permettant la mise en place d'actions et ne détaille pas dans quelles circonstances il faut envisager une action. (19)
- « Lorsqu'une activité ou une substance peut causer des dommages irréparables ou irréversibles, même si leur survenue est incertaine, cette activité doit être évitée ou éliminée. » Il s'agit ici d'une définition « extrême » qui ne prend pas en compte le potentiel bénéfique d'une substance ou d'une exposition. De plus, cette définition ne prend pas non plus en compte le « degré de dangerosité ou le degré d'incertitude sur la survenue du danger. » (19)

Selon l'article L110-1 du Code de l'environnement, « Le principe de précaution, selon lequel l'absence de certitudes, compte tenu des connaissances scientifiques et techniques du moment, ne doit pas retarder l'adoption de mesures effectives et proportionnées visant à prévenir un risque de dommages graves et irréversibles à l'environnement à un coût économiquement acceptable. » La logique de précaution prend en compte des menaces potentielles, incertaines, hypothétiques pour lesquelles on n'a aucune preuve tangible qu'elles vont se concrétiser. Ce principe s'applique en cas d'incertitude scientifique, scientifiquement établie. (20)

Les facteurs qui influencent la mise en place d'une action sont au nombre de deux (19) :



- Le degré de gravité du danger potentiel
- Le degré d'incertitude sur la dangerosité d'une activité, d'une substance ou d'une exposition

Dans le cas des CEMEBF, le gravité du risque est potentiellement importante (leucémie infantile) mais le degré d'incertitude est fort. Dans le cadre d'un danger potentiellement important, la mise en place d'actions préventives est justifiable. Cependant, ceci est à nuancer avec le degré d'incertitude élevé qui, de manière isolé, peut justifier l'absence de mise en place de mesures, une évaluation plus poussée de l'incertitude ou encore la mise en place de mesures qui doivent être « simples, peu coûteuses et sans conséquences négatives. » (19)

Dans le cadre des CEM, « tout le concept d'action de précaution [...] prend sa source dans l'hypothèse qu'il est bon de réduire l'exposition et que réduire un aspect de l'exposition réduira également tout autre aspect potentiellement nuisible ». (19)

1.5 Recommandations et limites d'exposition sur les CEM

Au niveau international, la norme admise est de 100 μ T pour les champs de 50 Hz. Cependant, ces valeurs sont bien plus élevées que celles auxquelles est soumise la population générale. De ce fait, les préoccupations du public concernent plutôt les effets à long terme pour des expositions de faible intensité mais le problème de ce type d'expositions est que les « données épidémiologiques des effets à long terme sont jugées insuffisantes pour établir des recommandations ».

La classification par le CIRC des CEMEBF comme cancérogènes possibles pour l'homme est l'élément qui a permis de justifier une réflexion quant à l'adoption de mesures de précaution pour des niveaux d'exposition plus bas. Ces mesures peuvent soit être fondées sur l'application du principe de précaution, soit sur l'adoption de mesures « d'évitement prudent ». Cette notion a été développée pour les CEMEBF et est définie comme « [...] la prise de mesures pour éloigner le public des champs en déplaçant les installations et en concevant différemment les systèmes et les appareils électriques à des coûts qui restent faibles ou modérés ». (19)

2 Deuxième partie : Matériel et méthodes

2.1 Hypothèses et objectifs

Au vu des éléments décrits dans l'introduction, cette étude s'est fondée sur deux hypothèses H0 et H1.

H0 : Les appareils électriques médicaux utilisés en néonatalogie sont des appareils qui émettent et exposent les nouveau-nés à des CEMEBF.

H1 : Il est possible de réduire l'exposition des nouveau-nés aux CEMEBF, s'ils existent, par l'adoption de mesures effectives et proportionnées à un coût économiquement acceptable.

Selon Jacqueline Clavel, directrice de l'Unité *Épidémiologie environnementale des cancers* de l'INSERM et directrice du Registre National des Hémopathies Malignes de l'Enfant, « Les leucémies de l'enfant sont des maladies hétérogènes, d'origines multifactorielles et résultant vraisemblablement d'au moins deux étapes de cancérogenèse » (4). Elle décrit plusieurs dizaines d'étiologies (agents ou causes) pouvant être à l'origine de leucémies infantiles.

Pour établir qu'un facteur de risque est un facteur causal d'une maladie, il faut s'assurer qu'il n'existe pas d'autres facteurs de risque cachés qui seraient à l'origine de cette maladie. Dans le cas d'une étude rétrospective, où l'apparition du facteur de risque étudié est ancienne et dont la maladie possède de nombreuses étiologies vérifiées ou soupçonnées, il existe trop de facteurs de confusion pour tenter de démontrer une relation causale. (21)

Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes donc concentrés sur un protocole de mesure visant à objectiver et quantifier les CEMEBF dans l'environnement d'un nouveau-né placé en service de réanimation néonatale ou de suites de couches. Ces mesures nous ont permis d'objectiver la présence ou



l'absence de CEMEBF et d'en apprécier le degré d'exposition. Par la suite, nous avons émis quelques recommandations fondées à la fois sur nos mesures et sur le principe de précaution à destination de professionnels de santé.

L'objectif principal de cette étude était donc d'effectuer des mesures au sein et aux abords des différents appareils électriques médicaux en service de réanimation néonatale, ainsi que dans les services de suites de couches et services dit « Unité Kangourou » ou « unité mère-enfant », afin de voir si ces appareils sont des émetteurs de CEMEBF et d'évaluer le niveau d'émission de ces mêmes appareils.

L'objectif secondaire était de fournir des outils pratiques aux professionnels de santé, afin de satisfaire au principe de précaution en diminuant l'exposition des nouveau-nés aux CEMEBF, sans augmenter leur charge de travail.

2.2 Type et déroulement de l'étude

Par la nature même de nos objectifs d'effectuer des mesures de champs magnétiques, notre étude a été de type quantitative. L'étude a eu lieu le 26 septembre 2014 au Centre Hospitalier de Poissy Saint-Germain-en-Laye (CHIPS) dans les Yvelines. Les mesures ont été effectuées sur diverses catégories d'appareils électriques dans les services de réanimation néonatale, de soins intensifs, d'unité mère-enfant ou « Unité Kangourou » ainsi que dans le service de suites de couches du rez-de-chaussée. Le CHIPS est un centre hospitalier de référence avec un centre périnatal de type III qui compte plus de 4500 naissances par an. Le service de médecine néonatale se compose de 24 lits répartis équitablement entre les services de réanimation néonatale et de soins intensifs ainsi que de 6 lits en unité Kangourou. Les services de suites de couches sont composés de 34 lits au rez-de-chaussée et de 26 lits au 6^e étage. Par ailleurs, le CHIPS dispose d'un service de néonatalogie qui se compose de 18 lits. Cet établissement était donc un choix intéressant car ses activités de médecine néonatale et la taille de ses services de suite de couches supposaient une grande diversité d'équipements spécifiques de médecine néonatale (incubateurs, respirateurs, tables radiantés, appareils de photothérapie, matelas chauffants etc.).



Trois personnes ont participé à cette étude : M. Laurent Le Guyader, Pr Pascal Boileau et moi-même.

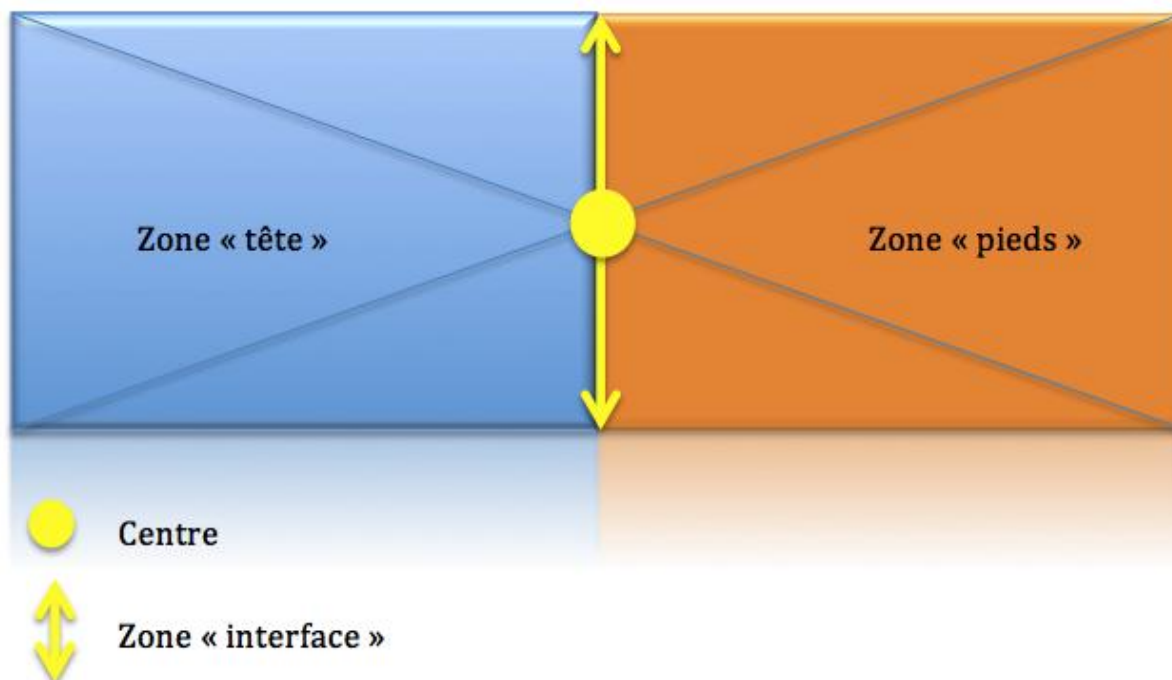
Laurent Le Guyader est électrotechnicien et membre du réseau Women in Europe for a Common Future (WECF). WECF France a été fondé le 31 Mars 2008 en tant qu'association loi 1901. Le WECF est à l'origine du projet Nesting consacré à la santé environnementale de la femme enceinte et de l'enfant. « Nesting » vient de l'anglais « nest » qui signifie « préparer son nid ». La logique de cette démarche est de préparer un environnement sain pour le bien-être immédiat et futur du nouveau-né. L'objectif du projet Nesting est de « rendre accessible au plus grand nombre les informations concernant les polluants reconnus comme potentiellement nocifs sur le développement de l'enfant, mais surtout de donner à chacun les moyens d'éviter ou de chasser ces polluants, pour préserver la santé du tout-petit ». M. Laurent Le Guyader a par ailleurs participé à la rédaction de la plaquette d'information sur les champs électromagnétiques dans le cadre du projet Nesting. (22)

Le Professeur Pascal Boileau est le chef du service de réanimation néonatale du CHIPS ainsi que le directeur de mémoire de cette étude. Son soutien dans la réalisation de cette étude a été fondamental car nous n'aurions pas pu accéder sans son accord à ces services qui accueillent des enfants prématurés.

Le protocole de mesure a été rédigé conjointement entre M. Le Guyader et moi-même puis validé par le Pr Pascal Boileau. Il a été décidé de créer un protocole spécifique différent selon le type d'appareil testé. Toutes les mesures ont été réalisées à l'aide d'un mesureur de champs ME3951A basse fréquence, analysant des bandes de fréquences de 5 Hz à 400 kHz. Cet appareil dispose d'une sensibilité et d'une échelle de mesure pour les champs d'induction magnétique de 0,1 nT jusqu'à 200 nT et de 1 nT jusqu'à 2000 nT. Toutes les mesures sont exprimées en nanotesla (nT) et des mesures de bruit de fond ont été effectuées avant d'effectuer les mesures au sein et aux abords des appareils afin de connaître la part d'émissions propres aux appareils et la part d'émissions présentes initialement dans l'environnement.

2.2.1 Protocole n°1 : incubateurs médicaux

Figure 1 : Schéma matelas incubateur médical



2.2.1.1 Définition des zones de mesure

Nous avons décidé de définir des zones au niveau du matelas des incubateurs. Ces zones ont été choisies après avoir observé la position classique d'un nouveau-né au sein de ces incubateurs. Nous avons tout d'abord séparé dans le sens de la largeur le matelas de façon équitable de manière à définir ce que nous avons appelé la zone « tête » et la zone « pieds ».

La zone « tête », schématisée ici par la surface bleue, représente l'ensemble des points qui sont potentiellement occupés par la tête du nouveau-né lorsqu'il est couché dans un incubateur.

La zone « pieds », schématisée ici par la surface orange, représente l'ensemble des points qui sont potentiellement occupés par les pieds du nouveau-né lorsqu'il est couché au sein d'un incubateur.



Nous avons volontairement choisi de définir des zones assez vastes en partant du principe qu'un nouveau-né n'est pas immobile dans un incubateur et peut, par conséquent, occuper des positions diverses.

Nous avons ensuite choisi comme point de référence le centre du matelas que nous avons appelé « centre » sur le schéma et qui est représenté par le point jaune. Ce point correspond au croisement des deux diagonales du matelas. Ce point nous a servi à comparer les appareils entre eux pour un même point. En effet, les zones « tête » et zones « pieds » nous ont fourni des valeurs qui pouvaient être comparées mais qui ne représentaient pas nécessairement le même point géographique entre les modèles d'incubateurs.

Enfin, une dernière zone appelée « interface » a été définie : elle est schématisée ici par une double flèche jaune entre les zones « tête » et « pieds ». Cette zone « interface » représente l'ensemble des points qui sont à l'interface entre la zone « tête » et « pieds ».

2.2.1.2 Prise des mesures

Nous avons recherché les valeurs maximales au sein des zones « tête », « pieds » et « interface ». Ces mesures ont été effectuées dans les 3 axes qui composent un champs magnétique : axe vertical, axe horizontal parallèle et axe horizontal orthogonal. Ces 3 axes de mesure correspondent à l'axe du capteur d'induction magnétique de l'appareil. Il était nécessaire d'effectuer chaque mesure dans les 3 axes car les valeurs peuvent être très différentes pour un même point en fonction de l'axe de mesure. Cependant, dans nos mesures, les valeurs maximales retrouvées dans chacun des axes ne désignent pas nécessairement un seul et unique point. Nous n'avons pas utilisé le calcul de la somme quadratique qui permet de connaître la résultante en un point des 3 axes de mesure car ce calcul n'a pas d'intérêt lorsqu'une des valeurs est très supérieure aux deux autres.

Nous avons appelé « Max tête », « Max pieds » et « Max centre » les valeurs maximales de CEMEBF retrouvées dans les zone « tête », « pieds » et « interface ». Pour ces mesures, nous avons obtenu 3 valeurs qui correspondent aux 3 axes de mesure qui composent le champ magnétique :



- « Max tête », « Max pieds » et « Max centre » dans l'axe vertical
- « Max tête », « Max pieds » et « Max centre » dans l'axe horizontal parallèle
- « Max tête », « Max pieds » et « Max centre » dans l'axe horizontal orthogonal

Enfin, nous avons mesuré la valeur au centre du matelas, au niveau du point « centre » dans ces 3 mêmes axes pour obtenir 3 autres valeurs :

- « Centre » dans l'axe vertical
- « Centre » dans l'axe horizontal parallèle
- « Centre » dans l'axe horizontal orthogonal

2.2.2 Protocole n°2 : Appareils de photothérapie de type « panneaux »

Nous avons tout d'abord choisi de rechercher la valeur maximale retrouvée aux abords de l'appareil de photothérapie. Cette valeur est notée « Mesure max » et se compose de 3 valeurs qui correspondent aux 3 axes de mesures qui composent le champ magnétique (axe vertical, horizontal parallèle et horizontale orthogonal).

Secondairement, nous avons recherché la valeur maximale retrouvée au niveau du matelas d'un berceau placé en dessous de l'appareil testé. Cette valeur est notée « Berceau » et se compose de 3 valeurs qui correspondent aux 3 axes de mesures qui composent le champ magnétique. Il est à noter que le berceau utilisé pour les mesures est le même pour les appareils de photothérapie testés. Cependant, la distance entre le berceau et la source d'émission n'est pas standardisée. Nous avons volontairement choisi d'effectuer nos mesures de la sorte afin d'obtenir des résultats au plus proche de l'utilisation en pratique réelle.



2.2.3 Protocole n°3 : Appareils de photothérapie en « tunnel »

Comme pour les incubateurs médicaux, nous avons défini des zones au niveau du filet où est allongé le nouveau-né. Nous avons ainsi divisé le filet en deux parties équitables séparant la partie avant de l'appareil que nous avons appelé « Devant », de la partie arrière de l'appareil que nous avons appelé « Fond » par la partie centrale qui correspond à l'interface entre la zone « Devant » et « Fond » et que nous avons appelée « Centre ». Comme précédemment, nous avons obtenu 3 valeurs pour chacune des 3 mesures qui correspondent aux 3 axes de mesure qui composent le champ magnétique :

- « Devant », « Centre » et « Fond » dans l'axe vertical
- « Devant », « Centre » et « Fond » dans l'axe horizontal parallèle
- « Devant », « Centre » et « Fond » dans l'axe horizontal orthogonal

2.2.4 Protocole n°4 : Appareils annexes

Ce dernier protocole concernait tous les autres appareils présents de façon courante dans l'environnement d'un nouveau-né. Il s'agissait des respirateurs, réchauffeurs d'air, tables radiantes, matelas chauffants, pousse seringues, mesureur de PCO₂ transcutanée et pompes diverses. Pour tous ces appareils nous avons recherché la valeur d'induction magnétique maximale retrouvée dans l'environnement de l'appareil concerné. Cette valeur est notée « Mesure max ». Pour cette « Mesure max », nous n'avons pas détaillé les valeurs retrouvées dans chacun des 3 axes du fait du peu d'intérêt qu'aurait représenté cette précision et de la difficulté de cette mesure du fait du manque de référentiel clair pour définir un axe vertical, horizontal parallèle et horizontal orthogonal. Enfin, nous avons défini une zone de sécurité, que nous avons appelé « Distance de sécurité », qui correspond à l'écartement par rapport à la machine à partir duquel la valeur du champ magnétique est inférieure à 400 nT. Cet écartement est mesuré en centimètre (cm).



3 Troisième partie : Résultats

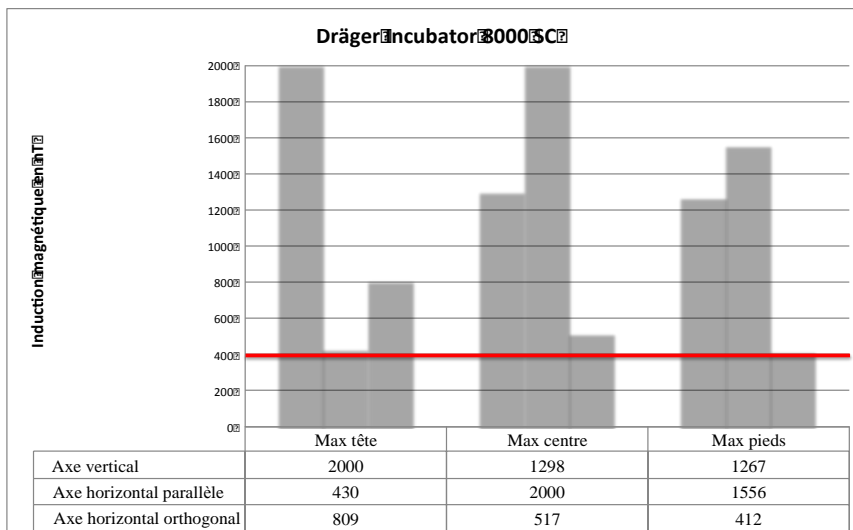
Le bruit de fond mesuré correspondait à un champ magnétique résiduel variant de 7 à 9 nT dans l’environnement de mesure.

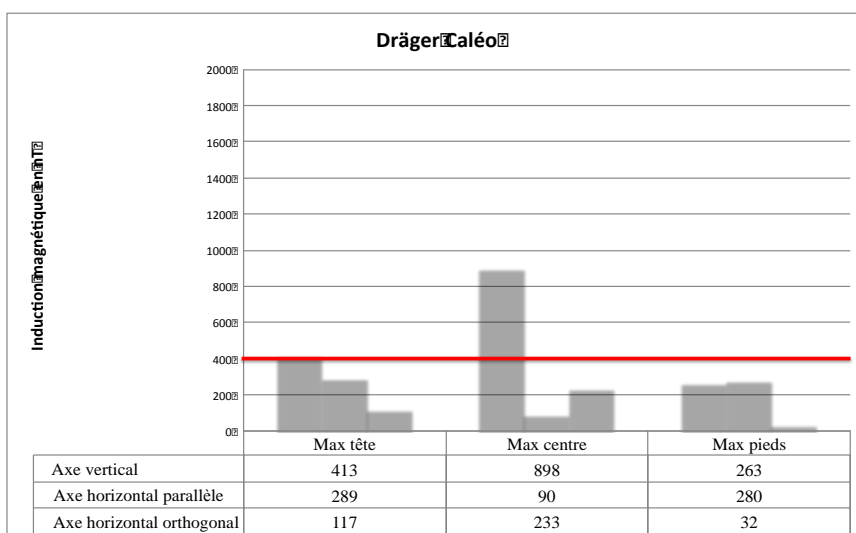
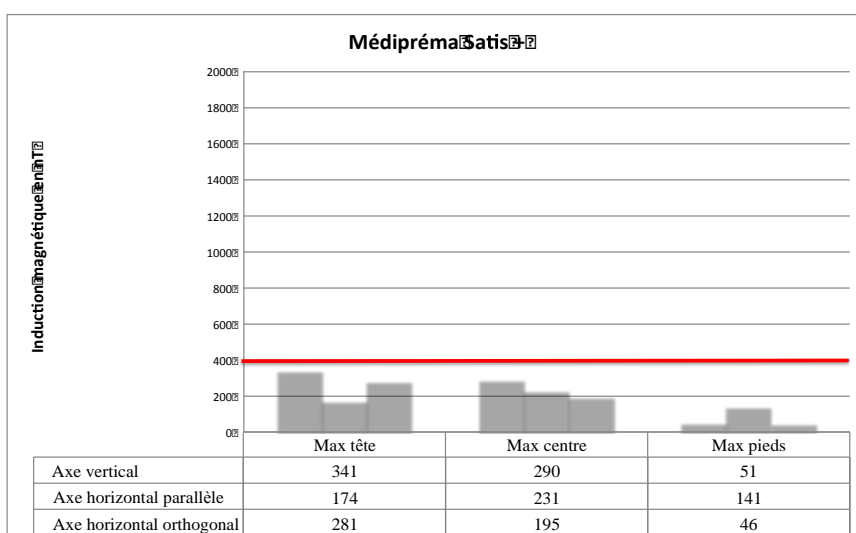
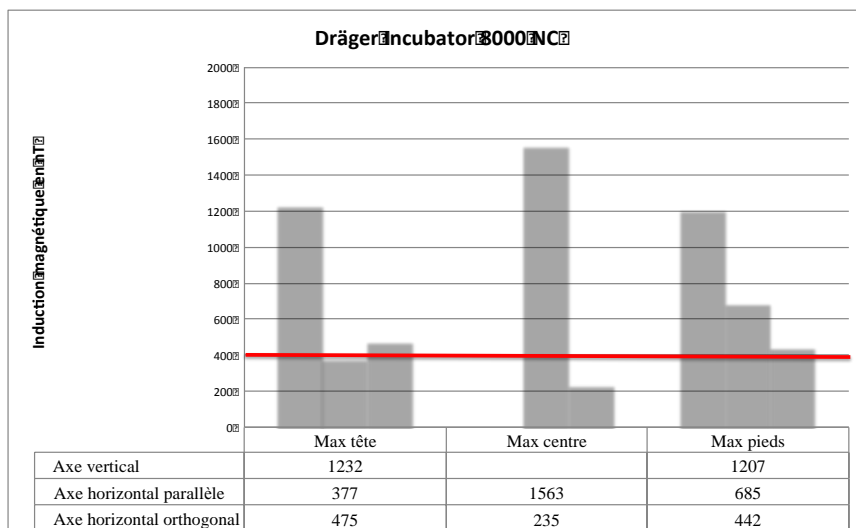
NB : Les valeurs d’induction magnétique égales à 2000 nT représentaient des valeurs de saturation pour l’appareil de mesure. En effet, ce dernier disposait d’une échelle de mesure allant de 1 à 2000 nT et signifient donc en réalité « supérieur à 2000 nT ».

Nous avons représenté par une ligne rouge la valeur seuil de 400 nT. Cette valeur a été choisie en fonction de la revue de la littérature sur le sujet des CEMEBF.

3.1 Incubateurs médicaux

Figure 2 : Incubateurs





3.1.1 Dräger Incubator 8000 SC

Les valeurs maximales d'induction magnétique mesurées au sein de cet incubateur ont toujours été supérieures à 400 nT, quelle que soit la zone et l'axe de mesure concernés. Les valeurs d'induction magnétique maximales sont supérieures à 2000 nT et ont été mesurées dans les zone « tête » et « interface ».

3.1.2 Dräger Incubator 8000 NC

Il a été mesuré au sein de cet incubateur des valeurs maximales d'induction magnétique supérieures à 400 nT dans toutes les zones de mesure. Cependant, pour chaque zone, il existait un axe de mesures pour lequel la valeur de 400 nT n'a pas été dépassée. La valeur d'induction magnétique maximale était de 1563 nT et a été mesurée dans la zone « interface ».

3.1.3 Médipréma Satis +

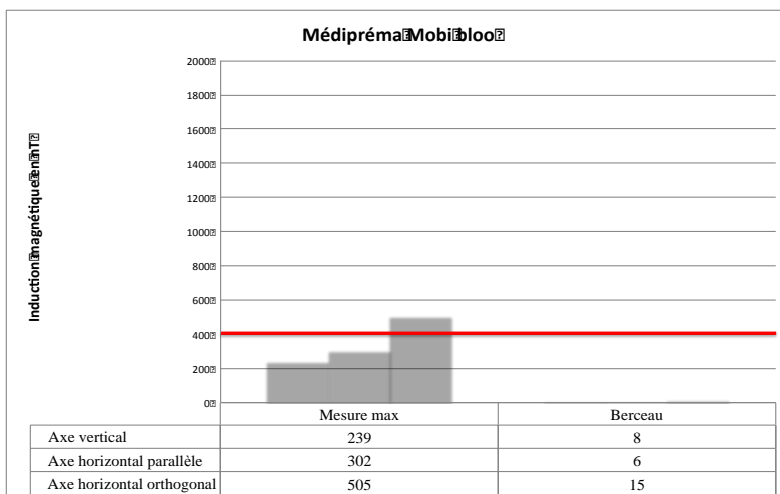
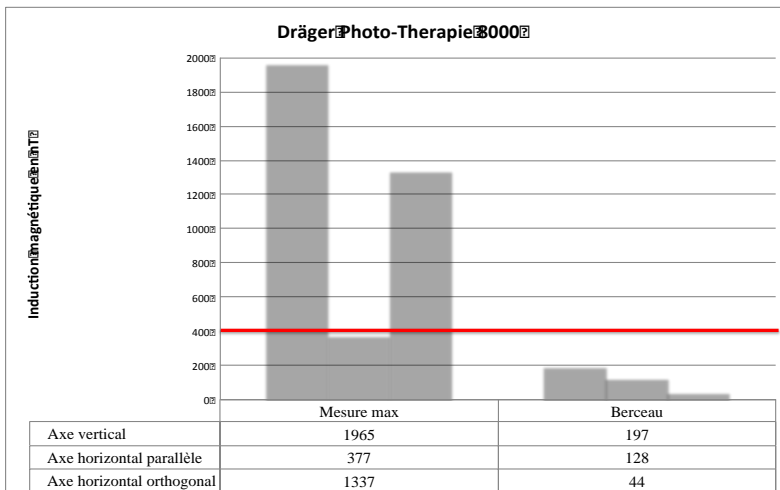
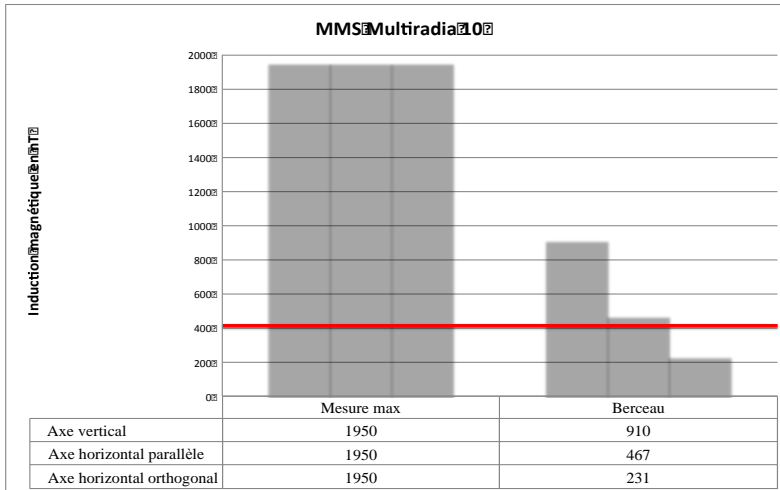
Les valeurs maximales d'induction magnétiques mesurées au sein de cet incubateur ont toujours été inférieures à 400 nT, quelle que soit la zone concernée. La valeur d'induction magnétique maximale était de 341 nT et a été mesurée dans la zone « tête ».

3.1.4 Dräger Caléo

Il a été mesuré au sein de cet incubateur des valeurs maximales d'induction magnétique supérieures à 400 nT dans les zones « tête » et « interface ». Cependant, pour chaque zone, il existait un ou plusieurs axes de mesures pour lesquels la valeur de 400 nT n'a pas été dépassée. La valeur d'induction magnétique était de 898 nT et a été mesurée dans la zone « interface ». Les valeurs d'induction magnétique mesurées au sein de la zone « pieds » étaient toutes inférieures à 400 nT.

3.2 Appareils de photothérapie en « panneaux »

Figure 3 : Appareils de photothérapie en "panneaux"



3.2.1 MMS Multiradia 10

La valeur d'induction magnétique maximale mesurée dans l'environnement de cet appareil était de 1950 nT. Cette valeur a été mesurée dans les 3 axes de mesure.

Il a été mesuré au sein du « Berceau » des valeurs d'induction magnétique supérieures à 400 nT. La valeur d'induction magnétique maximale dans cette zone était de 910 nT et a été mesurée en plaçant le capteur d'induction magnétique de l'appareil dans l'axe vertical.

3.2.2 Dräger Photo-Thérapie 8000

La valeur d'induction magnétique maximale mesurée dans l'environnement de cet appareil était de 1965 nT. Cette valeur a été mesurée en plaçant le capteur d'induction magnétique de l'appareil dans l'axe vertical.

Les valeurs maximales d'induction magnétique mesurées au sein du « Berceau » ont toujours été inférieures à 400 nT, quelle que soit l'axe de mesure. La valeur d'induction magnétique maximale dans cette zone était de 197 nT et a été mesurée en plaçant le capteur d'induction magnétique de l'appareil dans l'axe vertical.

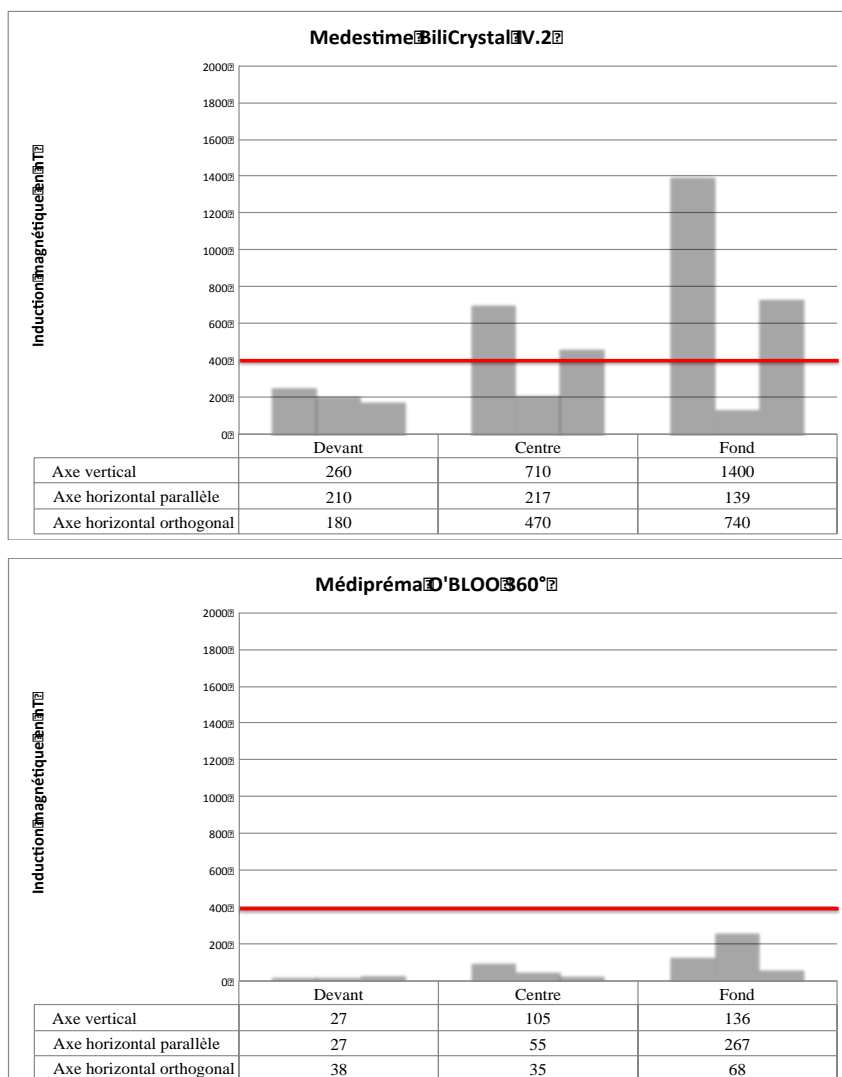
3.2.3 Médipréma Mobi bloo

La valeur d'induction magnétique maximale mesurée dans l'environnement de cet appareil était de 505 nT. Cette valeur a été mesurée dans en plaçant le capteur d'induction magnétique de l'appareil dans l'axe horizontal orthogonal.

Les valeurs maximales d'induction magnétique mesurées au sein du « Berceau » ont toujours été inférieures à 400 nT, quelle que soit l'axe de mesure. La valeur d'induction magnétique maximale dans cette zone était de 15 nT et a été mesurée en plaçant le capteur d'induction magnétique de l'appareil dans l'axe horizontal orthogonal.

3.3 Appareils de photothérapie en « tunnels »

Figure 4 : Appareils de photothérapie en "tunnels"



3.3.1 Medestime BiliCrystal IV.2

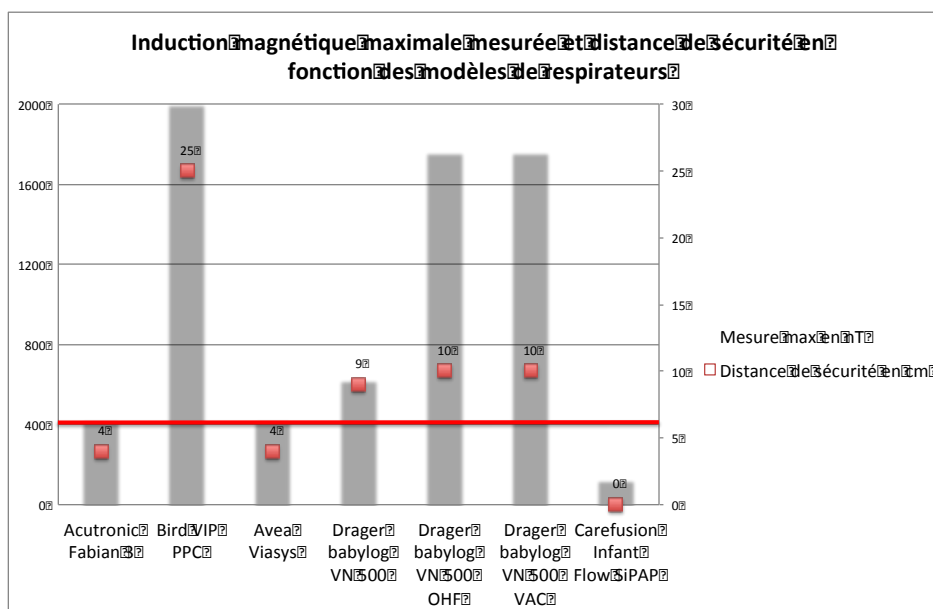
Il a été mesuré au sein de cet appareil des valeurs d'induction magnétique supérieures à 400 nT dans les zones « Centre » et « Fond ». La valeur d'induction magnétique maximale était de 1400 nT et a été mesurée dans la zone « Fond » en plaçant le capteur d'induction magnétique de l'appareil dans l'axe vertical. Les valeurs d'induction magnétique mesurées au sein de la zone « Devant » étaient toutes inférieures à 400 nT.

3.3.2 Médipréma O'BLOO 360°

Les valeurs maximales d'induction magnétique mesurées au sein de cet appareil ont toujours été inférieures à 400 nT, quelle que soit la zone et l'axe de mesure concernés. La valeur d'induction magnétique maximale était de 267 nT et a été mesurée dans la zone « Fond » en plaçant le capteur d'induction magnétique de l'appareil dans l'axe horizontal parallèle.

3.4 Respirateurs

Figure 5 : Respirateurs



La valeur d'induction magnétique maximale mesurée aux abords des différents modèles de respirateurs était supérieure à 2000 nT et a été mesurée dans l'environnement immédiat du Bird VIP PPC. La distance de sécurité retrouvée pour cet appareil a été de 25 cm, ce qui correspondait à la plus grande distance de sécurité mesurée.

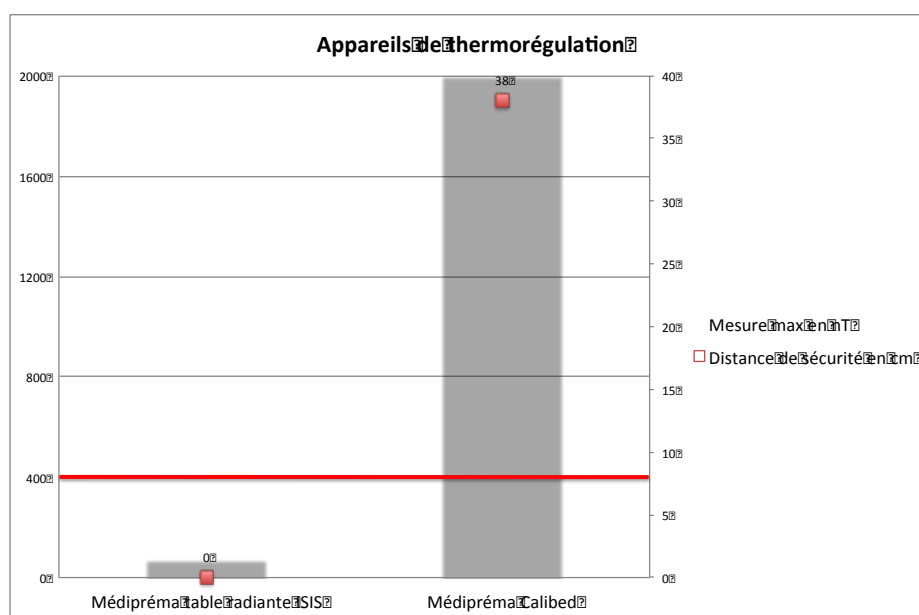
La valeur d'induction magnétique minimale mesurée aux abords des différents modèles de respirateurs était de 123 nT et a été mesurée dans l'environnement immédiat du Carefusion Infant Flow SiPAP. La distance de sécurité pour cet appareil

est nulle car la valeur maximale mesurée dans l'environnement de cet appareil était inférieure à 400 nT. Il s'agissait de la plus petite distance de sécurité mesurée.

3.5 Appareils de thermorégulation

Remarque : Les mesures d'induction magnétique maximales ont été effectuées au niveau du matelas où est placé le nouveau-né.

Figure 6 : Appareils de thermorégulation

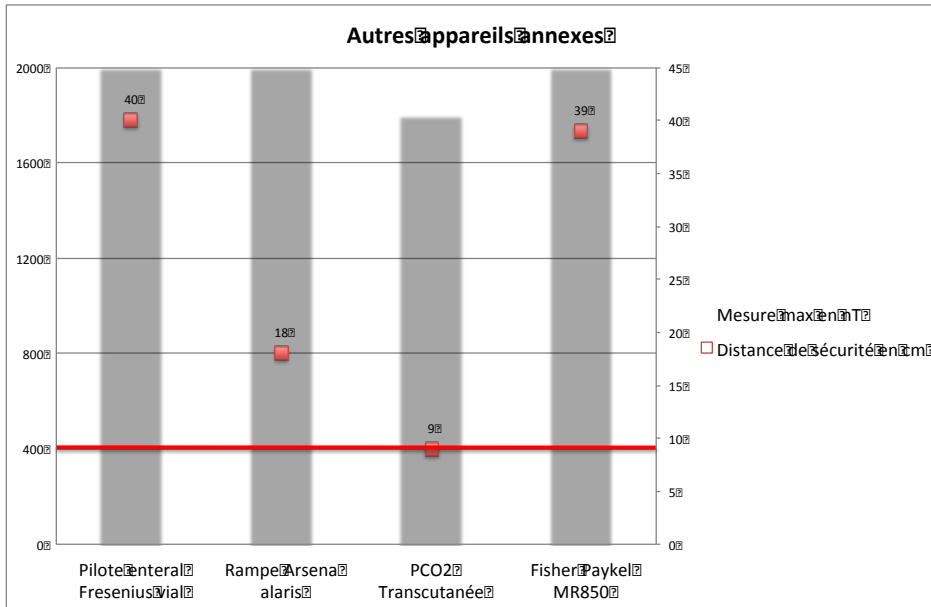


La valeur d'induction magnétique maximale était supérieure à 2000 nT et a été mesurée au niveau du matelas du Médipréma Calibed. La distance de sécurité retrouvée pour cet appareil a été de 38 cm, ce qui correspondait à la plus grande distance de sécurité mesurée pour ce type d'appareil.

La valeur d'induction magnétique minimale était de 70 nT et a été mesurée au niveau du matelas de la table radiante Médipréma ISIS. La distance de sécurité retrouvée pour cet appareil était nulle car la valeur maximale mesurée dans l'environnement de cet appareil était inférieure à 400 nT. Il s'agissait de la plus petite distance de sécurité mesurée pour ce type d'appareil.

3.6 Appareils annexes

Figure 7 : Autres appareils annexes



Pour les appareils annexes, les valeurs d'induction magnétique maximales mesurées variaient de 1800 nT à plus de 2000 nT et les distances de sécurité retrouvées allaient de 9 à 40 cm. Cette distance de 40 cm sera à l'origine d'une des mesures d'évitement prudent que nous allons développer par la suite.



4 Quatrième partie : Discussion

4.1 Résumé et discussion des principaux résultats

Les mesures d'induction magnétique effectuées au sein ou aux abords de différents appareils électriques utilisés en néonatalogie nous ont permis de savoir si ces appareils étaient des émetteurs de CEMEBF et de comparer les appareils entre eux.

Figure 8 : Comparaison des valeurs maximales mesurées au sein des incubateurs

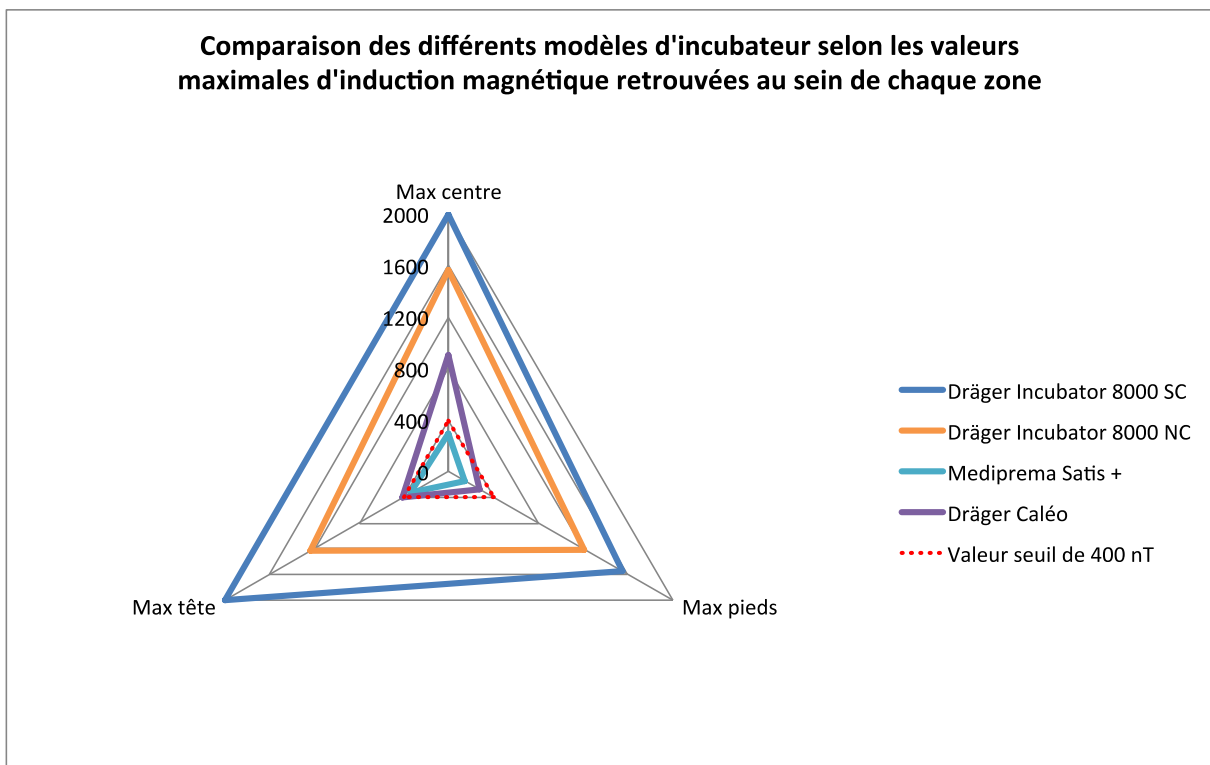
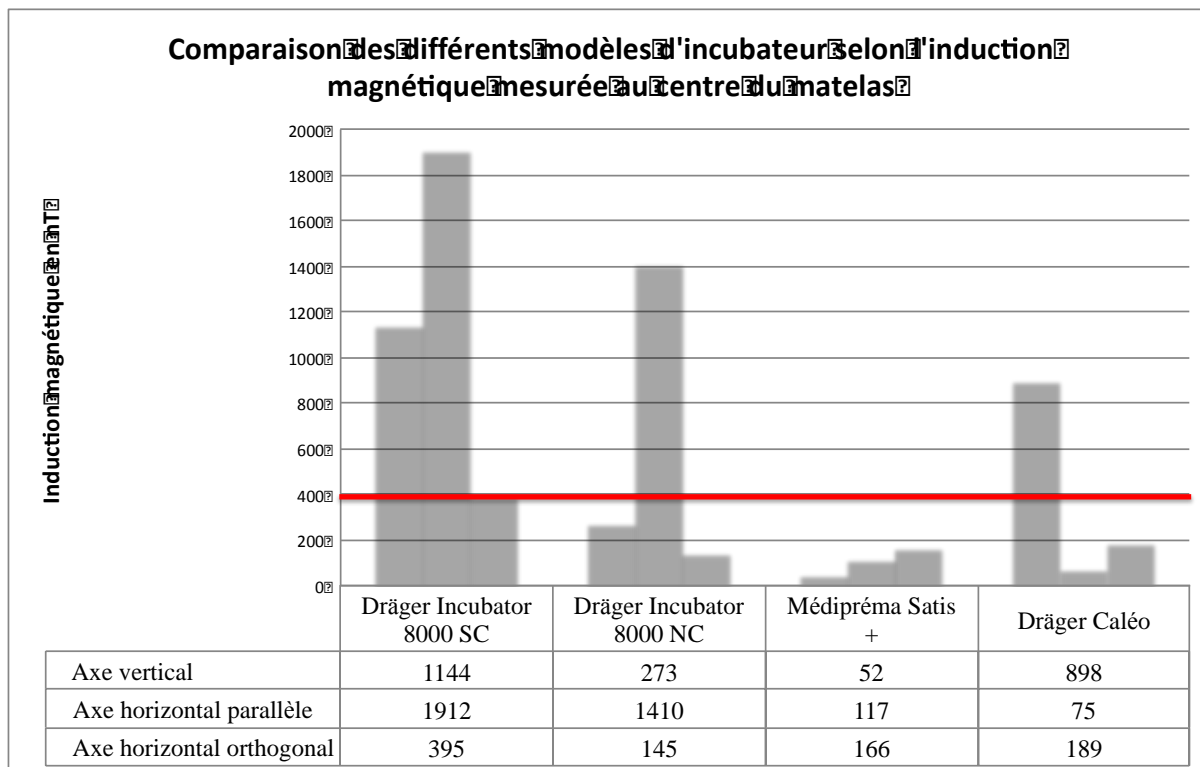


Figure 9 : Comparaison des valeurs mesurées au centre du matelas des incubateurs



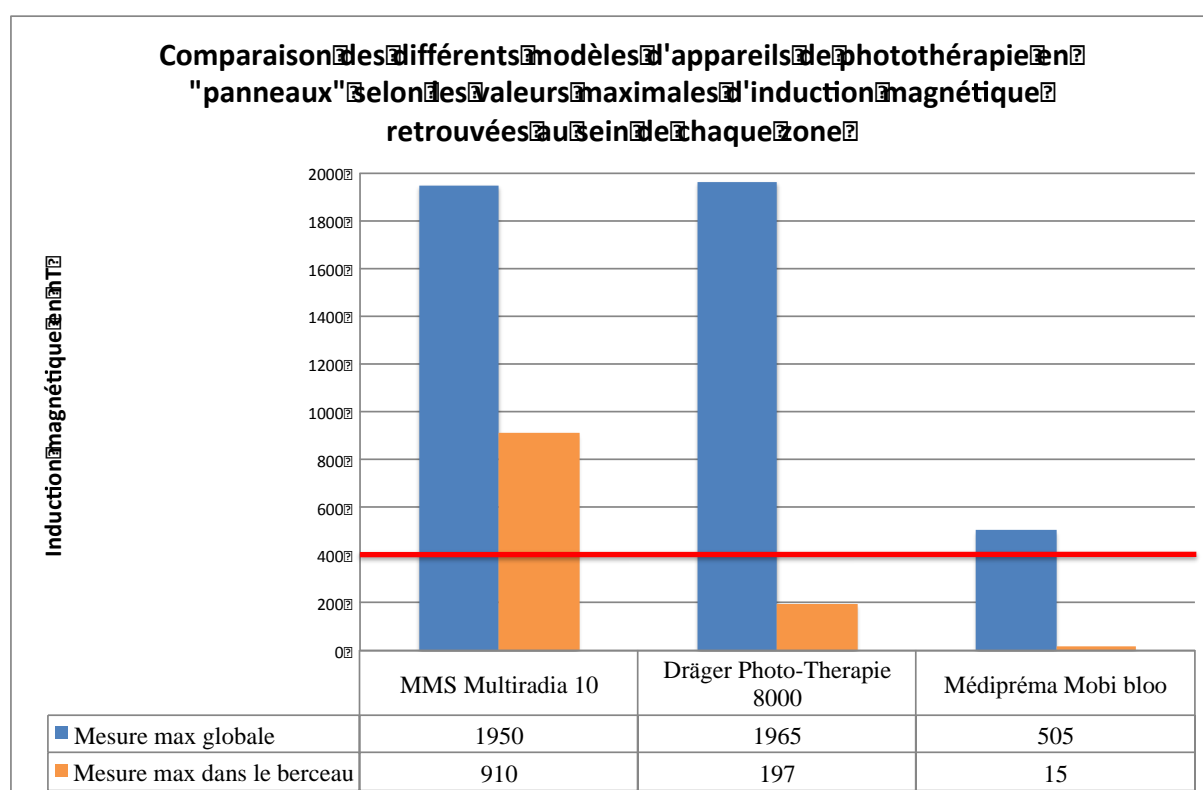
Ces deux graphiques nous permettent de comparer les niveaux d'émissions de CEMEBF en fonction des modèles d'incubateurs que nous avons testé. Les valeurs utilisées pour la figure n°8 sont les valeurs maximales que nous avons mesurées dans chacune des 3 zones. La valeur seuil de 400 nT est ici représentée par un trait rouge. Les valeurs utilisées pour la figure n°9 sont celles mesurées au centre du matelas et nous permettent de comparer les appareils entre eux pour un même point géographique.

Nos mesures nous ont permis de conclure que les niveaux d'émission de CEMEBF sont très différents entre les modèles d'incubateurs. En effet, le Dräger Incubator 8000 SC émet à des niveaux supérieurs à 400 nT quelle que soit la zone de l'habitable dans laquelle le nouveau-né se trouve alors que le Médipréma Satis + possède des niveaux d'émission de CEMEBF toujours inférieurs à 400 nT. Les

Dräger Incubator 8000 NC et Dräger Caléo émettent quant à eux à des niveaux intermédiaires. La valeur maximale mesurée au sein du Dräger Caléo est tout de même inférieure à la valeur maximale mesurée au sein du Dräger Incubator 8000 NC. Les résultats concernant les incubateurs médicaux testés montrent que $\frac{3}{4}$ des appareils testés émettent des CEMEBF supérieurs à 400 nT au sein de leurs habitacles.

La comparaison des résultats obtenus en classant les appareils en fonction des valeurs d'émission maximales mesurées au sein de chaque zone ou au centre du matelas sont cohérentes entre elles et classent les incubateurs selon le même ordre en ce qui concerne leurs niveaux d'émissions.

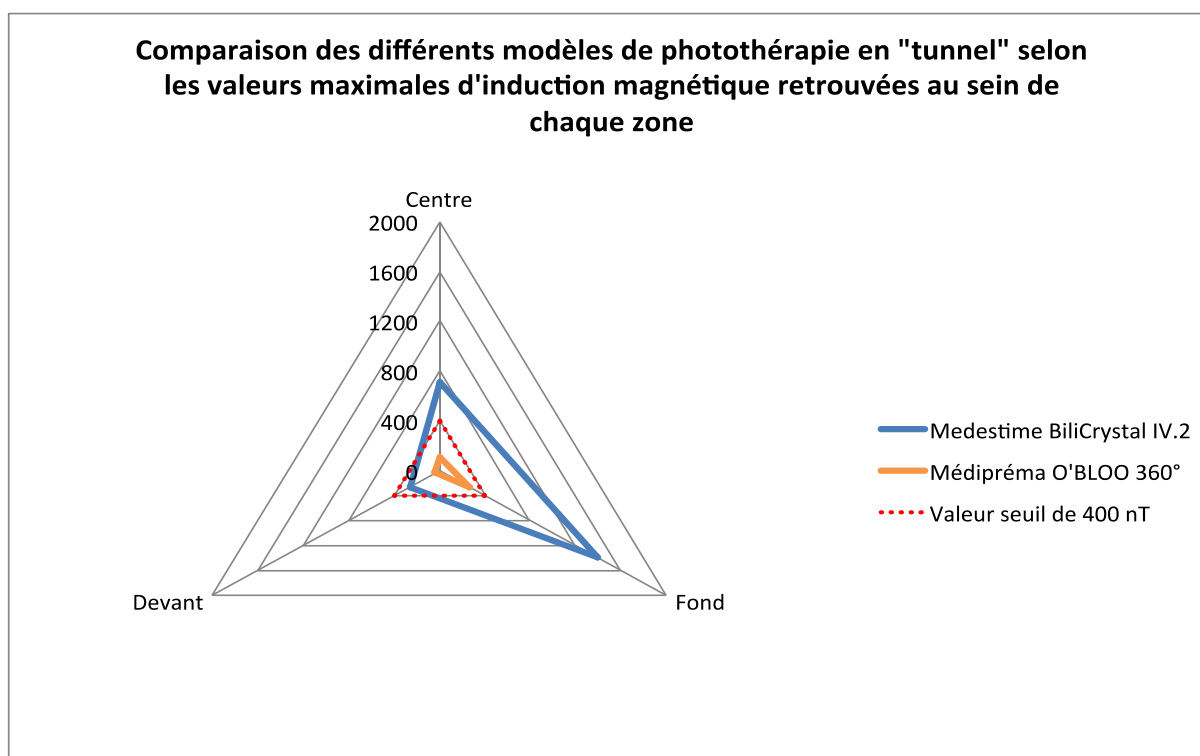
Figure 10 : Comparaison des appareils de photothérapie en "panneaux"



Le constat est différent concernant les appareils de photothérapie en « panneaux ». En effet, seul le MMS Multiradia 10 émet à des niveaux supérieurs à 400 nT au niveau de l'environnement où se trouve le nouveau-né alors que les

Dräger Photo-Thérapie 8000 et Médipréma Mobi bloo émettent à des niveaux toujours largement inférieurs à 400 nT. La technologie à LED utilisée pour l'appareil Médipréma Mobi bloo semble être à l'origine d'un niveau d'émission négligeable. Les résultats sont rassurants pour ce type d'appareils et confirment l'intérêt des appareils de photothérapie qui utilisent la technologie à LED, d'autant plus que ce types d'appareils possèdent un niveau de performances supérieures.

Figure 11 : Comparaison des appareils de photothérapie en "tunnels"



Les mesures effectuées au sein des appareils de photothérapie en « tunnel » nous ont permis de conclure que seul le Médipréma O'BLOO 360° avait des niveaux d'émission de CEMEBF toujours inférieurs à 400 nT.

Cependant, les mesures faites au sein du Medestime BiliCrystal IV.2 et du Médipréma O'BLOO 360° sont toutes deux intéressantes : on observe que les valeurs maximales sont retrouvées au fond de l'appareil et qu'il existe un gradient d'émission qui diminue au fur et à mesure que l'on se rapproche de l'avant de



l'appareil. Ce constat est à l'origine d'une des mesures de réduction de l'exposition aux CEMEBF qui sera développée ultérieurement.

Concernant les appareils de thermorégulation, nous avons conclu qu'il n'était pas possible d'utiliser le matelas chauffant Médipréma Calibed en respectant un niveau d'exposition inférieur à 400 nT au niveau du matelas où est placé le nouveau-né. En effet, la distance de sécurité de 38 cm n'est pas applicable par la nature même de l'appareil. Il est à noter que la table radiante Médipréma ISIS n'émet jamais à des niveaux supérieurs à 400 nT au niveau du matelas.

Enfin, concernant les appareils tels que les respirateurs ou les appareils annexes, il est surtout intéressant de se référer aux distances de sécurité que nous avons mesurées. Ces distances permettent d'avoir un ordre de grandeur de la distance à respecter entre la machine et le nouveau-né pour que ce dernier ne soit pas exposé à des CEMEBF supérieurs à 400 nT. Parmi tous les appareils pour lesquels nous avons mesuré cette distance de sécurité, la distance de sécurité la plus élevée est de 40 cm. Nous retiendrons cette distance comme un ordre de grandeur qu'il peut être judicieux de respecter pour que le nouveau-né ne soit pas soumis à des CEMEBF supérieurs à 400 nT du fait des appareils annexes qui l'entourent.

Au vu de nos mesures, l'hypothèse H0 est donc validée : Les appareils électriques médicaux utilisés en néonatalogie sont des appareils qui émettent et exposent les nouveau-nés à des CEMEBF.

4.2 Forces de l'étude

La force de cette étude repose sur le caractère novateur de cette stratégie qui ne vise pas à rechercher un lien de causalité entre l'apparition de leucémies infantiles et l'exposition chronique à des CEMEBF. En effet, au vu des grandes difficultés de méthodologie et de reproductibilité qui ressort des nombreuses études déjà réalisées sur le sujet, il paraissait très peu probable qu'une telle démarche apporte de nouveaux éléments de preuves sur la dangerosité potentielle de ces



ondes. Cependant, il ressort de nombreuses études la nécessité d'identifier quelles sont les sources émettrices de CEMEBF afin de voir si une diminution des émissions est possible. Un des principaux problèmes de méthodologie retrouvé dans les études épidémiologiques est que la métrologie de l'exposition est très difficile à évaluer. Cette difficulté peut être temporelle (en prenant pour hypothèse que l'exposition mesurée au moment de l'étude est un bon reflet de l'exposition passée) ou spatiale (les mesures faites dans des points fixes comme une chambre d'enfant sont censées être représentatives de l'exposition moyenne de ces sujets) (11). Dans le cas de notre étude, il est plutôt facile de quantifier l'exposition d'un nouveau né qui se trouve dans un service médical. En effet, ce dernier est quasiment immobile à l'échelle d'une pièce et il est possible de savoir à chaque moment quels appareils sont utilisés dans son environnement et pendant combien de temps. Les mesures effectuées sont donc un reflet relativement fiable de l'exposition de ces enfants aux CEMEBF. De ce constat découle que certaines mesures simples peuvent être envisagées afin de réduire cette exposition, en prenant quelques précautions dont le coût est nul et dont la mise en pratique n'implique pas une augmentation de la charge de travail du personnel soignant.

Enfin, cette étude avait pour intérêt d'informer le public et les professionnels de santé sur la problématique des CEMEBF en fournissant une information objective et des conseils pratiques utilisables dans les services pour réduire l'exposition des nouveau-nés aux CEMEBF.

4.3 Limites et biais

Afin de présenter nos résultats de façon plus claire et explicite, nous avons fixé une valeur seuil de 400 nT comme un niveau d'émission jugé acceptable. Ce niveau a été choisi en fonction des différentes études épidémiologiques qui observaient une augmentation du risque de développer une leucémie infantile lorsque les enfants étaient exposés chroniquement à des valeurs supérieures à 400 nT. Cependant, il faut garder à l'esprit qu'aucune étude cellulaire n'a permis de mettre en évidence de processus biologique reproductible chez l'animal ou chez



l'homme permettant d'expliquer cette augmentation du risque. Cette valeur de 400 nT ne peut pas être retenue comme un seuil de dangerosité prouvé mais plutôt comme une valeur qu'il semble raisonnable de respecter, quand cela est possible. Ce point constitue une limite très importante : les soins prodigués aux nouveau-nés dans les services de néonatalogie ne doivent pas être perturbés par la connaissance du fait que certains appareils sont des émetteurs de CEMEBF. En effet, le niveau de preuve sur les bénéfices de l'utilisation des incubateurs médicaux, ou des appareils de photothérapie par exemple, est supérieur en terme de balance bénéfices/risques vis-à-vis du niveau de preuve sur la dangerosité des CEMEBF.

Concernant nos mesures, celles-ci ont été effectuées sur des appareils isolés les uns par rapport aux autres. Chaque appareil a ainsi été testé séparément afin de connaître son niveau d'émission propre. Cette méthode a eu pour intérêt de comparer le niveau d'émission des appareils entre eux. Cependant, cette méthode ne nous a pas permis de mesurer le niveau d'émission reçu par un nouveau-né dans le cadre d'un montage classique d'une chambre de néonatalogie, par exemple avec la présence de plusieurs appareils fonctionnant de façon simultanée.

De plus, nos mesures ont été effectuées à un temps t . Ceci nous a permis de comparer les appareils entre eux dans les mêmes conditions d'utilisation mais ne nous informe pas sur les potentielles variations d'émission qui peuvent apparaître sur une utilisation plus prolongée (régulation de la température au sein d'un incubateur, changement de débit ou de mode ventilatoire d'un respirateur etc.) et sur les changements du bruit de fond qui peuvent exister en fonction de l'heure ou de la période de l'année dans l'environnement du nouveau-né.

Enfin, il aurait pu être intéressant d'effectuer de nouvelles mesures à l'aide d'un mesureur de champ isotrope. Ce type d'appareil permet de mesurer un champ dans toutes les directions en un point et d'en calculer la résultante en ce point. Cette démarche faciliterait notamment l'interprétation des résultats qui ne nécessiterait pas de devoir séparer les 3 axes de mesures du capteur d'induction magnétique.



4.4 Implications

Les mesures au sein et aux abords des différents appareils médicaux utilisés en néonatalogie nous ont permis de confirmer que ces appareils sont des émetteurs de CEMEBF. L'objectif secondaire de cette étude était de savoir s'il était possible de réduire l'exposition des nouveau-nés à ces ondes par des mesures simples et économiquement acceptables. Nous avons ainsi observé que les émissions pouvaient être très différentes pour un même type d'appareil en fonction des modèles testés. De ce fait, il peut être judicieux de choisir, à bénéfices égaux, un appareil qui émet moins de CEMEBF. En revanche, un appareil dont le niveau d'émission est supérieur à un autre mais dont les performances et les bénéfices médicaux sont aussi supérieurs pour la santé de l'enfant doit rester le choix prioritaire.

Certains appareils nous ont aussi apportés des informations intéressantes sur leurs émissions. En particulier les appareils de photothérapie en « tunnel ». Pour les deux appareils testés, on observe un gradient d'émission qui diminue à mesure que l'on avance vers l'avant de l'appareil. Nous avons observé qu'il n'existait pas de sens préconisé pour placer le nouveau-né au sein de ce type d'appareil et qu'il était d'usage de le placer la tête au fond de l'appareil par habitude. Il apparaissait évident de proposer dorénavant un sens pour ces deux appareils testés : il est judicieux de placé la tête du nouveau-né vers l'avant de l'appareil afin que celle-ci se trouve dans la zone la moins soumise à des CEMEBF. Cette mesure est d'ailleurs appliquée au CHIPS depuis nos mesures.

Concernant les appareils annexes tels que les pousse-seringues, pompes, mesureurs de PCO₂ transcutané etc. la donnée la plus intéressante était la distance de sécurité. Pour ces appareils, la distance de sécurité maximale retrouvée a été de 40 cm. On peut donc retenir qu'il est raisonnable de respecter un écartement de 40 cm entre le nouveau-né et les appareils annexes de ce type pour que celui-ci ne soit pas soumis à des CEMEBF supérieurs à 400 nT. Cette mesure est très simple à mettre en place et était déjà appliquée en réalité par les équipes, du fait de



l'agencement d'une chambre de néonatalogie (étagères en général à plus de 40 cm de l'enfant).

Enfin, le matelas chauffant Calibed a retenu notre attention par son niveau d'émission important et sa distance de sécurité de 38 cm qui ne permet pas son utilisation à des niveaux d'émissions qui seraient inférieurs à 400 nT. Une réflexion est à envisager sur les bénéfices néonataux de ce type d'appareil. En effet, au vu de nos mesures, nous pensons qu'il est judicieux d'utiliser ce type d'appareil de façon ponctuelle.

4.5 Perspectives et suite de l'étude

Cette étude n'est que le point de départ d'une réflexion qui peut être plus avancée et certains points mériteraient d'être approfondis.

Tout d'abord, il serait intéressant de multiplier les appareils testés en effectuant de nouvelles mesures au sein et aux abords d'autres modèles d'appareils. Ces mesures auraient pour intérêt d'étoffer les connaissances sur ces appareils et d'aider au choix des soignants quant à l'utilisation d'une machine par rapport à une autre.

Secondairement, il serait souhaitable d'analyser la construction des appareils afin de voir quels sont les matériaux ou les composants électriques qui influencent le niveau d'émission d'un appareil. Ces informations pourraient permettre aux fabricants d'adopter une réflexion pour les futurs appareils afin d'essayer de diminuer le niveau d'émission de ces appareils. En effet, comme expliqué en introduction, la décroissance rapide des CEMEBF en fonction de la distance pourrait être une idée permettant de réduire le niveau d'émission de certains appareils en écartant simplement les composants électriques de l'habitacle, notamment pour les incubateurs médicaux.

De plus, des mesures sur un temps plus long devraient être envisagées afin d'évaluer le niveau d'émission moyen reçu par un nouveau-né dans des conditions réelles. Ces mesures pourraient être effectuées en reproduisant plusieurs environnements types.



Enfin, il serait intéressant de produire un résumé des mesures effectuées et des méthodes envisagées pour réduire l'exposition des nouveau-nés à l'attention des personnels soignants. Ce document aurait pour principal objectif d'informer objectivement sur l'état des connaissances sur le sujet des CEMEBF et d'apporter des solutions simples qui n'ajoutent pas de charge de travail aux équipes pour diminuer l'exposition des nouveau-nés aux CEMEBF.

Les mesures de réduction de l'exposition pourraient être résumées de cette façon pour le CHIPS :

- Pour chaque type d'appareil, il est judicieux de choisir, à bénéfices égaux, un appareil qui émet moins de CEMEBF comparativement à un appareil qui émet plus de CEMEBF.
- Pour chaque type d'appareil, le bénéfice médical apporté doit toujours être la variable prioritaire quant au choix d'un appareil : un niveau d'émission de CEMEBF jugé important ne peut pas justifier que l'on choisisse un appareil moins performant ou moins adapté au profil d'un niveau d'émission de CEMEBF plus faible.
- Il est judicieux de placer la tête du nouveau-né vers l'avant des deux appareils de photothérapie en tunnel testés au CHIPS.
- Le matelas chauffant testé au CHIPS doit être utilisé de façon raisonnée et raisonnable : il est judicieux d'envisager les autres solutions de thermorégulation comme le peau à peau (méthode efficace et dont les bénéfices sont nombreux).
- Une distance d'environ 40 cm entre un nouveau-né et des appareils annexes tels que des pousse seringues ou pompes d'alimentation entérale semble être suffisante pour réduire le niveau d'exposition des nouveau-nés à des valeurs inférieures à 400 nT.

Au vu des mesures citées ci dessus, l'hypothèse H1 est validée : Il est possible de réduire l'exposition des nouveau-nés aux CEMEBF, s'ils existent, par l'adoption de mesures effectives et proportionnées à un coût économiquement acceptable.

Conclusion

Les mesures d'induction magnétique effectuées au sein et aux abords de divers appareils médicaux utilisés dans les services de néonatalogie du CHIPS nous ont permis de conclure qu'il existe une très grande variabilité dans les niveaux d'émission de ces appareils, et ce, y compris au sein d'une même catégorie d'appareil.

En effet, 3/4 des incubateurs testés émettaient des CEMEBF supérieurs à 400 nT dans toutes les zones de l'habitable. En revanche, ce bilan est différent pour d'autres appareils comme les appareils de photothérapie en « panneaux » pour lesquels nous avons retrouvé dans 2/3 des cas des appareils qui émettent des CEMEBF toujours inférieurs à 400 nT au niveau du matelas où est positionné le nouveau-né. Ce constat nous a amené à produire la recommandation suivante : pour chaque type d'appareil, il est judicieux de choisir, à bénéfices égaux, un appareil qui émet moins de CEMEBF comparativement à un appareil qui émet plus de CEMEBF. De plus, certaines mesures nous ont permis de comprendre que certains appareils émettaient des CEMEBF à des niveaux très différents en fonction des zones de l'habitable. Cette notion se rapporte particulièrement aux appareils de photothérapie en « tunnels » pour lesquels nous avons retrouvé un gradient d'émission qui diminuait au fur et à mesure que l'on se rapproche de l'avant de l'appareil. Cette découverte nous permet de conseiller aux équipes soignantes de placer préférentiellement la tête du nouveau-né vers l'avant de l'appareil, afin que celle-ci soit positionnée dans la zone où les niveaux d'émission de CEMEBF sont les plus faibles.

Pour les autres appareils, nous nous sommes concentrés principalement sur la définition d'une zone de sécurité qui caractérise la distance entre l'appareil et le nouveau-né à partir de laquelle les émissions deviennent inférieures à 400 nT. Nos mesures ont montré pour les appareils de thermorégulation qu'il existait une très grande disparité entre les deux appareils testés. En effet, un nouveau-né placé sur le



matelas de la table radiante testée ne peut en aucun cas recevoir des CEMEBF supérieurs à 400 nT. A l'inverse, un nouveau-né allongé sur le matelas chauffant testé sera soumis à des valeurs de CEMEBF supérieurs à 2000 nT pour lequel il conviendrait de respecter un écartement de 38 cm entre le matelas et le nouveau-né pour que ces CEMEBF deviennent inférieurs à 400 nT. Cette mesure d'écartement est impossible du fait du mode de fonctionnement du matelas chauffant. Cette conclusion nous amène à nous poser la question du bénéfice de ce type d'appareil et nous pensons que son utilisation doit rester ponctuelle. Il est aussi envisageable que ce type d'appareil soit modifié par la suite en rajoutant à celui-ci un blindage électromagnétique afin de garder ses propriétés de chauffage tout en protégeant l'enfant de ces CEMEBF.

Enfin, en ce qui concerne les mesures de distances de sécurité effectuées pour les appareils annexes : nos mesures indiquent qu'une distance de 40 cm entre le nouveau-né et ce type d'appareil semble être suffisante pour que celui-ci ne soit pas soumis à des CEMEBF supérieurs à 400 nT. Il faut cependant noter que ces mesures ont été effectuées sur un petit nombre d'appareils et qu'il serait intéressant de multiplier les mesures sur d'autres appareils afin de confirmer que cette distance est une distance suffisante.

Les résultats de nos mesures nous ont permis de produire quelques recommandations à l'attention des personnels soignants afin de limiter l'exposition des nouveau-nés aux CEMEBF sans augmenter la charge de travail des équipes. Cependant, il est d'une importance fondamentale de garder à l'esprit que la valeur seuil de 400 nT a été choisie en fonction des différentes études épidémiologiques mais qu'il n'existe aucune étude cellulaire ayant permis de mettre en évidence un processus biologique reproductible chez l'animal ou chez l'homme permettant d'expliquer cette augmentation du risque. Nous n'affirmons donc pas que cette valeur de 400 nT constitue un seuil de dangerosité mais un niveau qu'il semble raisonnable de respecter, au vu des études épidémiologiques, lorsque cela est possible. Enfin, l'adoption de mesures de réduction de l'exposition aux CEMEBF ne doit jamais se faire au détriment de la qualité du soin.

Bibliographie

1. Inserm. Pesticides : Effets sur la santé - Une expertise collective de l'Inserm [Internet]. 2003 [cité 28 mai 2015]. Disponible sur: <http://www3.ligue-cancer.net/docs/fichiers/pesticides.pdf>
2. Ligue National contre le cancer. Les dangers de l'amiante [Internet]. [cité 28 mars 2015]. Disponible sur: <http://www.ligue-cancer.net/sites/default/files/brochures/dangers-amiante.pdf>
3. Ligue National contre le cancer. Un bon usage du soleil [Internet]. [cité 28 mars 2015]. Disponible sur: <http://fr.calameo.com/read/0018149050c6f4254fd49>
4. Clavel J. Les leucémies de l'enfant et les champs électromagnétiques basse fréquence - Afis - Association française pour l'information scientifique [Internet]. Association Française pour l'Information Scientifique AFIS. 2009 [cité 19 avr 2015]. Disponible sur: <http://www.pseudo-sciences.org/spip.php?article1158>
5. Les ondes électromagnétiques [Internet]. [cité 18 mars 2015]. Disponible sur: <http://e-cours.univ-paris1.fr/modules/uved/envcal/html/rayonnement/1-rayonnement-electromagnetique/1-2-les-ondes-electromagnetiques.html>
6. Anonyme. OMS | Que sont les champs électromagnétiques ? [Internet]. WHO. [cité 18 mars 2015]. Disponible sur: <http://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/fr/>
7. A. Bounouh, H. Brugere et al. Les extrêmement basses fréquences [Internet]. 2010 [cité 21 mars 2015]. Disponible sur: <https://www.anses.fr/sites/default/files/documents/AP2008et0006Ra.pdf>
8. Criirem. Le classement des ondes [Internet]. [cité 2 avr 2015]. Disponible sur: http://www.criirem.org/index.php?option=com_content&view=article&id=11&Itemid=64
9. Inserm, Afsset. Cancer et environnement (2008) [Internet]. [cité 2 avr 2015]. Disponible sur: <http://www.zyzyne.com/zh5/96623#p=312>
10. Wertheimer N, Leeper E. Electrical wiring configurations and childhood cancer [Internet]. American Journal of Epidemiology. 1979 [cité 2 avr 2015]. Disponible sur: <http://aje.oxfordjournals.org/content/109/3/273.long>
11. Aurengo A, Clavel J, De Seze R, Guénel P, Jousset-Dubien J, Veyret B. Champs magnétiques d'extrêmement basse fréquence et santé [Internet]. 2004 [cité 23 mars 2015]. Disponible sur:



- http://www.sante.gouv.fr/IMG/pdf/Rapport_sur_les_champs_magnetiques_d_extremement_basse_frequence_et_sante.pdf
12. Ahlbom and al. A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia [Internet]. [cité 3 avr 2015]. Disponible sur: <http://www.nature.com/bjc/journal/v83/n5/pdf/6691376a.pdf>
 13. Grenland and al. A Pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia [Internet]. [cité 3 avr 2015]. Disponible sur: http://journals.lww.com/epidem/Fulltext/2000/11000/A_Pooled_Analysis_of_Magnetic_Fields,_Wire_Codes,.3.aspx
 14. WHO, International Agency for Research on Cancer. Non-Ionizing Radiation, Part 1 : Static and Extremely Low-Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields [Internet]. Lyon; 2002 [cité 11 avr 2015]. Disponible sur: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol80/mono80.pdf>
 15. Draper and al. Childhood cancer in relation to distance from high voltage power lines in England and Wales : a case-control study [Internet]. [cité 3 avr 2015]. Disponible sur: <http://www.bmj.com/content/bmj/330/7503/1290.full.pdf>
 16. Kabuto M, Nitta H, Yamamoto S, Yamaguchi N, Akiba S, Honda Y, et al. Childhood leukemia and magnetic fields in Japan: A case-control study of childhood leukemia and residential power-frequency magnetic fields in Japan. *Int J Cancer*. 1 août 2006;119(3):643- 50.
 17. Sermage-Faure C, Demoury C, Rudant J. Childhood leukaemia close to high-voltage power lines - The Geocap study. *British Journal of Cancer* [Internet]. 2013 [cité 2 avr 2015]; Disponible sur: <http://www.nature.com/bjc/journal/v108/n9/pdf/bjc2013128a.pdf>
 18. Bellieni CV, Acampa M, Maffei M, Maffei S, Perrone S, Pinto I, et al. Electromagnetic fields produced by incubators influence heart rate variability in newborns. *Arch Dis Child - Fetal Neonatal Ed*. 7 janv 2008;93(4):F298- 301.
 19. Leeka I Kheifets, Tahera Emilie van Deventer, Gail Lundell. Le principe de précaution et les champs électriques et magnétiques : mise en œuvre et évaluation. 2006;5(1):43- 53.
 20. Code de l'environnement - Article L110-1. Code de l'environnement.
 21. Touzet Sandrine, Colin Cyrille, Département d'information médicale des hospices civils de Lyon. Interpretation d'un enquête épidémiologique, types d'enquête, notions de biais, causalité [Internet]. [cité 19 avr 2015]. Disponible sur: <http://www.docstoc.com/docs/33260127/INTERPRETATION-DUNE-ENQUETE-EPIDEMIOLOGIQUE>
 22. WECF. Guide WECF : Champs électromagnétiques [Internet]. [cité 23 avr 2015]. Disponible sur: http://www.projetnesting.fr/IMG/pdf/guide_cem_pdf_web.pdf

23. Classification des substances cancérigènes par le CIRC [Internet]. [cité 19 mai 2015]. Disponible sur: <http://www.cancer-environnement.fr/Default.aspx?TabId=213&genPdf=1>

Annexe I : Données brutes respirateurs

Annexe 1 : Données brutes respirateurs

	Mesure max en nT	Distance de sécurité en cm
Acutronic Fabian 3	420	4
Bird VIP PPC	2000	25
Avea Viasys	420	4
Drager babylog VN 500	620	9
Drager babylog VN 500 OHF	1758	10
Drager babylog VN 500 VAC	1758	10
Carefusion Infant Flow SiPAP	123	0

Annexe II : Données brutes appareils de thermorégulation

Annexe 2 : Données brutes appareils de thermorégulation

	Mesure max en nT	Distance de sécurité en cm
Médipréma table radiante ISIS	420	4
Médipréma Calibed	2000	25



Annexe III : Données brutes appareils annexes

Annexe 3 : Données brutes appareils annexes

	Mesure max en nT	Distance de sécurité en cm
Pilote enteral Fresenius Vial	2000	40
Rampe Arsena alaris	2000	18
PCO2 Transcutanée	1800	9
Fisher Paykel MR850	2000	39

Annexe IV : Classification des substances cancérigènes par le CIRC (23)

Annexe 4 : Classification des substances cancérigènes par le CIRC

Les critères de classement des agents selon le degré d'indication de cancérigénicité		
Classe d'agents	Critères de détermination du degré d'indication de risque pour l'homme et pour l'animal de laboratoire : principes généraux et particuliers de classement de l'agent dans le groupe	Nombre d'agents classés (au 23 octobre 2014)
Agent cancérigène pour l'homme (groupe 1)	Principe général : Indications suffisantes de cancérigénicité pour l'homme. Exception : Indications pas tout à fait suffisantes pour l'homme associées à des indications suffisantes pour l'animal et à de fortes présomptions envers un mécanisme de cancérigénicité reconnu.	114 agents
Agent probablement cancérigène pour l'homme (groupe 2A)	Principe général : Indications limitées de cancérigénicité chez l'homme et suffisantes chez l'animal. Cas particulier : Indications insuffisantes pour l'homme et suffisantes pour l'animal associés à de fortes présomptions pour une cancérigénèse selon un mécanisme identique chez l'homme. Exceptions : - Seule base des indications limitées de cancérigénicité pour l'homme. - Appartenance de l'agent à une catégorie d'agents dont un ou plusieurs membres ont été classés dans le groupe 1 ou 2A.	69 agents
Agent peut-être cancérigène pour l'homme (groupe 2B)	Principe général (2 formes) : Forme 1 : Indications limitées de cancérigénicité chez l'homme et insuffisantes chez l'animal. Forme 2 : Indications insuffisantes chez l'homme et suffisantes chez l'animal. Cas particuliers : - Indications insuffisantes pour l'homme et insuffisantes pour l'animal cependant corroborées par des données sur les mécanismes notamment. - Seule base d'indications solides provenant de données sur les mécanismes.	283 agents
Agent inclassable quant à sa cancérigénicité pour l'homme (groupe 3)	Principe général : Indications insuffisantes chez l'homme et insuffisantes ou limitées chez l'animal Exception : Indications insuffisantes pour l'homme et suffisantes chez l'animal associés à de fortes présomptions pour un mécanisme de cancérigénicité chez l'animal ne fonctionnant pas chez l'homme.	504 agents
Agent n'est probablement pas cancérigène pour l'homme (groupe 4)	Principe général : Indications suggérant une absence de cancérigénicité chez l'homme et chez l'animal de laboratoire. Cas particulier : Indications insuffisantes pour l'homme associés à des indications suggérant une absence de cancérigénicité pour l'animal et fortement corroborées par des données mécanistiques et d'autres données pertinentes.	1 agent (caprolactame)