



Cahier des expertises

Volet champ magnétique

janvier 2017

Date d'approbation : 26/01/2017

Date d'applicabilité : 26/01/2017

Date de fin de validité :

Référence CIRTEUS : NT DG 2017 0132

Indice : 2

Calcul et simulation de valeurs de champs d'induction magnétique générés par les câbles sous-marin inter-éoliennes du futur parc de Dieppe-Le Tréport

10 Page(s)

Documents annulés :

Documents de référence :

Directive européenne 2013/35/EU du 26 juin 2013

Arrêté Technique de 2001

Référence fonctionnelle :

Résumé :

Etude de simulation du champ magnétique 50 Hz généré par les câbles sous-marins qui relieront chaque éolienne du parc (câbles inter-éoliennes), au poste électrique en mer réalisée dans le cadre du projet du futur parc éolien en mer de Dieppe-Le Tréport.

Accessibilité :

Libre

CIRTEUS

Restreinte

Confidentielle

X

Calcul et simulation de valeurs de champs d'induction magnétique générés par les câbles sous-marin inter-éoliennes
du futur parc de Dieppe-Le Tréport

Rédacteur(s)		Vérificateur(s)		Approbateur(s)	
Nom	Visa	Nom	Visa	Nom	Date/Visa
F.MOULIN		X.GUINCHARD		J.GIRALTE	

DIFFUSION	
Pour action	Pour information
Anne-Laure HERNANDEZ (CIRTEUS)	Damien COUGNAUD (RTE) Alexandre IRLE (RTE) François DESCHAMPS (RTE) Matthieu CABAU (RTE)

HISTORIQUE

Indice	Date	Projet ou Pour approbation	Rédacteur(s)	Modifications
1	26/01/2017	Pour approbation	F.MOULIN	Création du document
2	16/02/2017	Pour approbation	F.MOULIN	Prise en compte remarques CIRTEUS

SOMMAIRE

1.	Données pour l'étude.....	4
2.	Résultats des simulations	5
2.1.	Mode de pose : Ensuillage.....	6
2.2.	Mode de pose : Enrochement	7
2.3.	J-Tubes.....	8
2.4.	Tableau récapitulatif des valeurs de champ d'induction magnétique.....	9
3.	Réglementation applicable.....	9
4.	Conclusion.....	10

1. Données pour l'étude

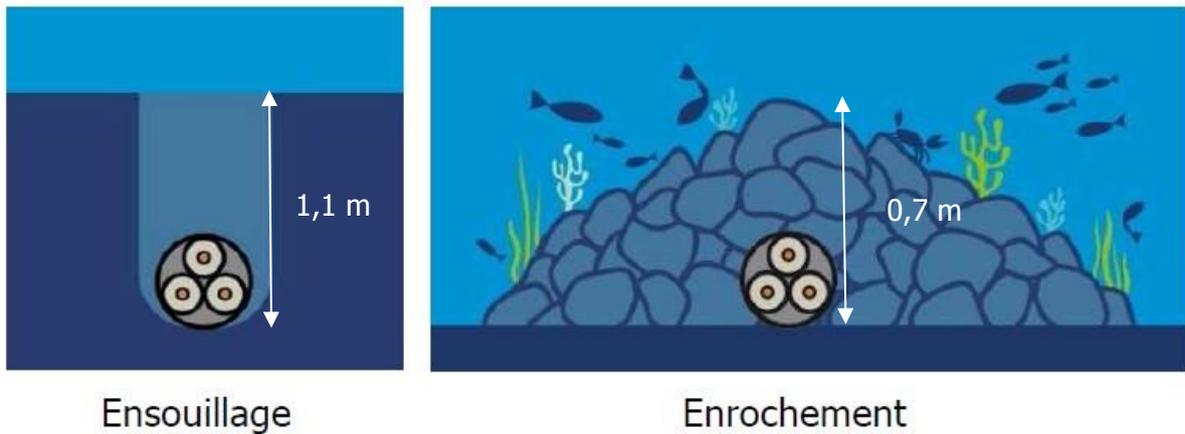
Deux sections de câbles seront utilisées, à priori de 240 et 800 mm², ce qui correspond à un diamètre extérieur de câble compris entre 12 cm et 16 cm.

Les caractéristiques des câbles sont décrites ci-après :

- **Câbles inter-éoliennes**
 - Diamètre total du tri câble : entre 12 cm et 16 cm
 - Section de l'âme conductrice : 57,4 km de câbles de section 240 mm² et environ 37,7 km de câbles de section 800 mm².
 - Longueur totale du câblage : 96,6 km = 95,1 km au niveau des sédiments (ensouillés ou enrochés) et 1,5 km de J-tubes immergés (tube en métal permettant de faire remonter le câble le long de la fondation jusqu'au sommet de la pièce de transition, épaisseur de l'acier entre 16 et 40 mm).
 - Matériau de l'âme : cuivre ou aluminium
 - Phases : 3
 - Transit max :
 - Dans câbles ensouillés ou enrochés : 465 A dans le 240 mm² et 771 A dans le 800 mm²
 - Dans J-tubes : max de 887 A dans le 800 mm².
 - Mode de pose et de protection : un robot type ROV sera utilisé pour creuser une tranchée de 0,7 m de largeur et 1,1 m de profondeur, déposer le câble et le recouvrir par le sable présent sur place.
 - Profondeur(s) d'ensouillage : 98% des câbles seront ensouillés à une profondeur de 1,1 m (épaisseur de sédiment recouvrant le câble). Les 2% restant seront déposés sur le fond marin et recouvert d'enrochements de 0,7 m de hauteur sur 1,5 m de largeur.

- **Récapitulatif des caractéristiques :**

Section du câble (mm ²)	Transit max (A)	Mode de pose	Diamètre du tri câble (cm)
240	465	Ensouillage / Enrochement	12
800	771	Ensouillage / Enrochement	16
800	887	J-Tube	16



Le champ magnétique (H) est mesuré en ampère par mètre (A/m). A basses fréquences, il est cependant plus commun de parler de champ d'induction magnétique 50Hz (B ou CM50) mesuré en microtesla (μT). La relation entre champ magnétique et induction magnétique est constante dans l'air ainsi que dans les matériaux amagnétiques y compris l'eau de mer et le fond marin. La relation est la suivante : $1 \text{ A/m} = 1,26 \mu\text{T}$

2. Résultats des simulations

Nous attirons votre attention sur le fait que ces résultats reposent entièrement sur les données fournies et les hypothèses formulées ci-dessus. Les câbles ont été modélisés sur le logiciel EFC 400.

Ces simulations représentent les contraintes maximales car le courant utilisé correspond au maximum et ne tient pas compte des variations de production.

De plus, l'effet réducteur provoqué par l'armure autour du tri câble n'est pas pris en compte dans nos modélisations car cela nécessite une étude avec des outils spécifiques ainsi que la connaissance de données précises sur la constitution de l'armure.

Seule la partie en câble sous-marin est abordée dans ce document. Les extrémités et la plateforme en mer sont hors du spectre de cette étude.

Vous trouverez ci-après, les courbes de champ d'induction magnétique pour les différentes options calculées sur un axe perpendiculaire au câble. $X = 0$ correspond à l'axe du câble.

2.1. Mode de pose : Ensouillage

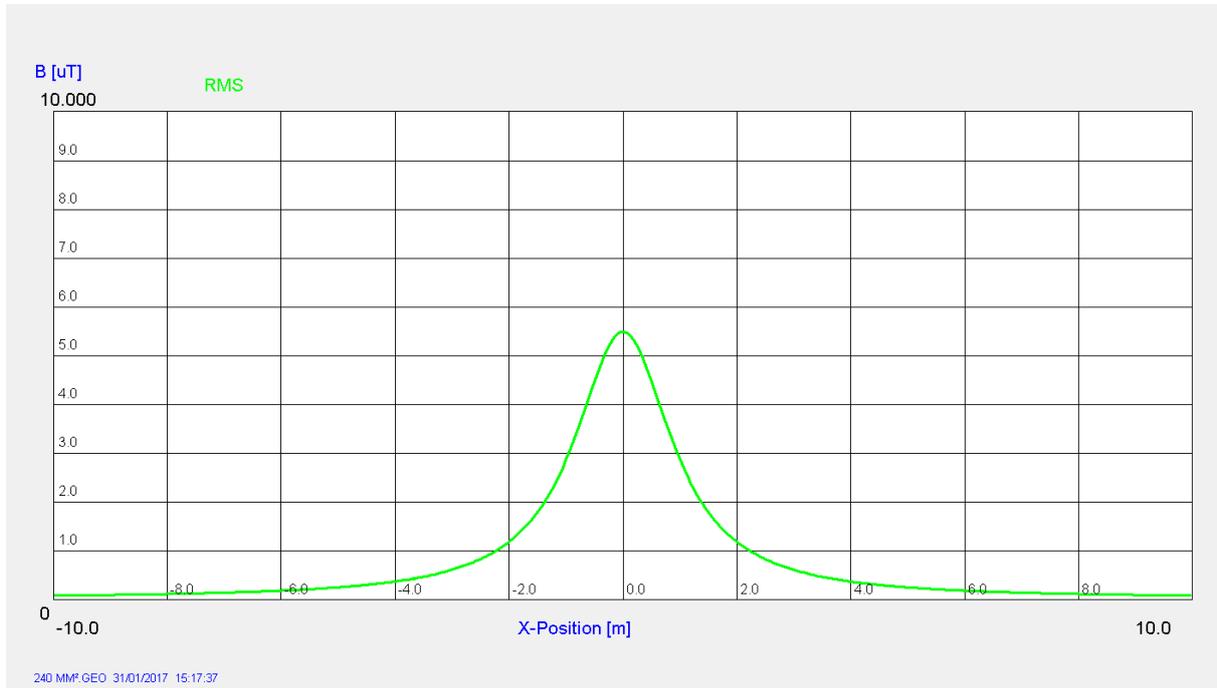


Figure 1 : Champ d'induction magnétique du câble 240 mm² calculé au niveau du fond marin avec un courant de 465 A

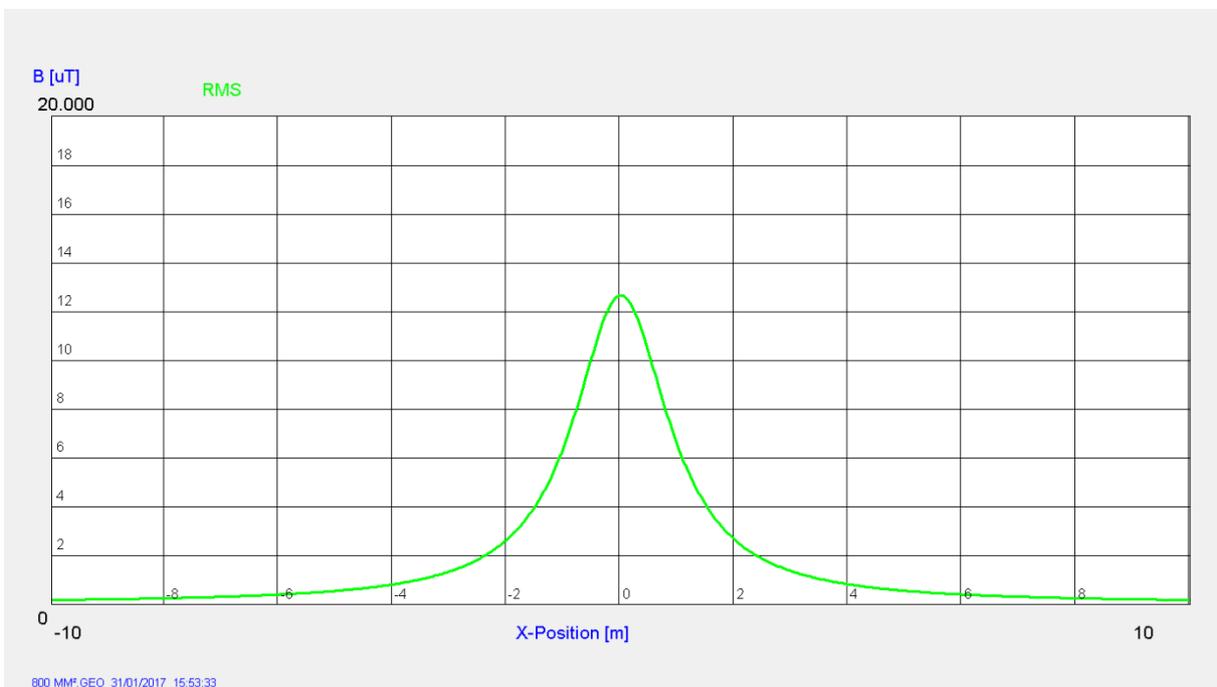


Figure 2 : Champ d'induction magnétique du câble 800 mm² calculé au niveau du fond marin avec un courant de 771 A

2.2. Mode de pose : Enrochement

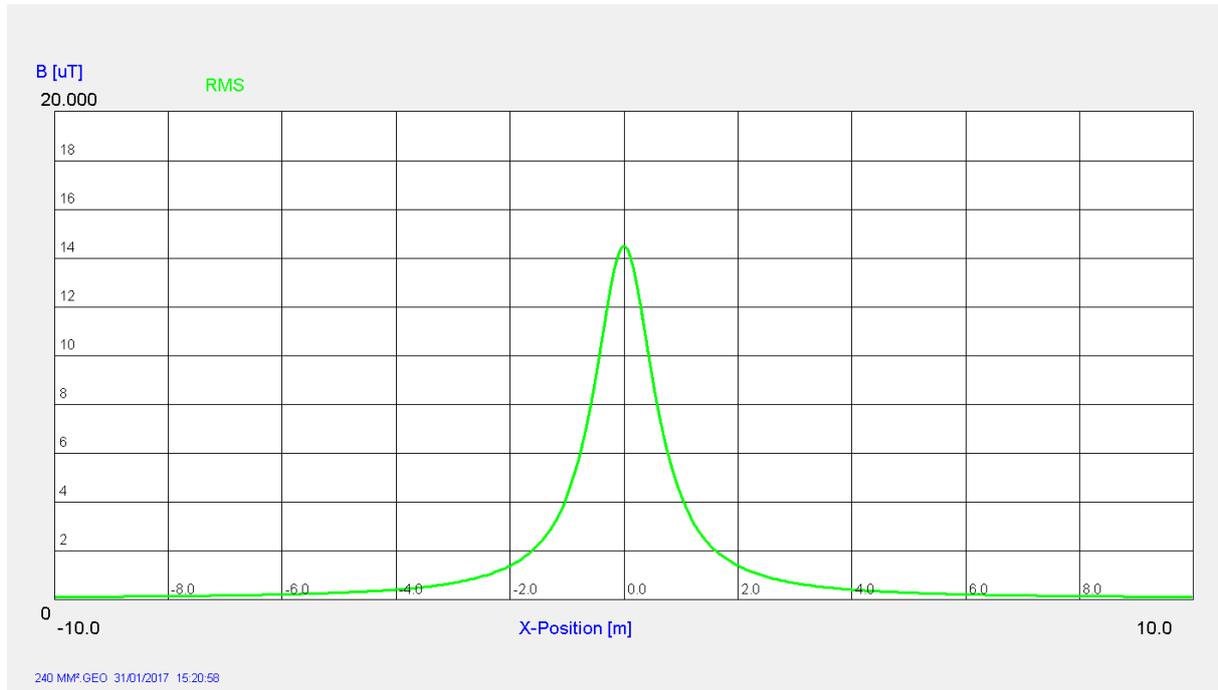


Figure 3 : Champ d'induction magnétique du câble 240 mm² calculé à 0,7 m au-dessus du fond marin avec un courant de 465 A

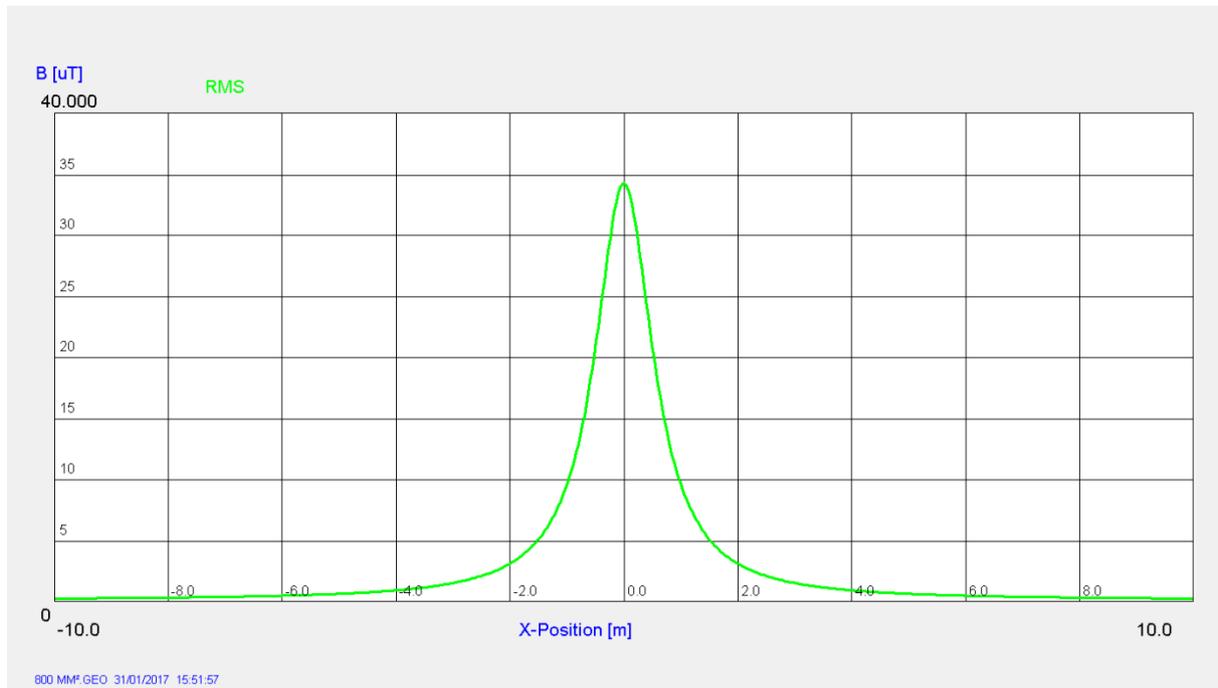


Figure 4 : Champ d'induction magnétique du câble 800 mm² calculé à 0,7 m au-dessus du fond marin avec un courant de 771 A

2.3. J-Tubes

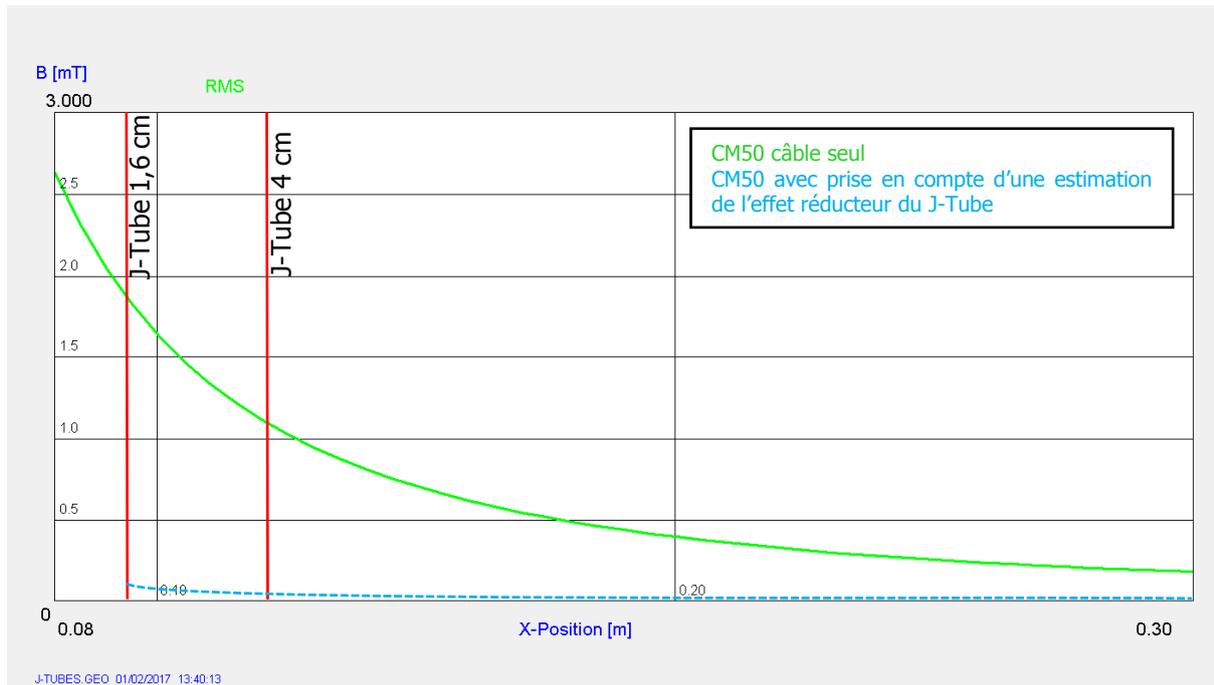


Figure 5 : Champ d'induction magnétique du J-Tube 800 mm² calculé à partir de la surface extérieure du câble (8 cm depuis l'axe) avec un courant de 887 A

Notre modélisation (courbe verte) ne prend pas en compte l'effet de réduction du tube en acier pour les J-Tubes. Le tube en acier aura pour effet de canaliser le champ tel un circuit magnétique ne laissant passer qu'une faible partie du rayonnement vers l'extérieur.

Nous considérons à RTE un facteur réducteur du CM50 à l'extérieur du tube d'une valeur conservatoire égale à 20 représenté par la courbe bleue en pointillés. La valeur maximale du CM50 à l'extérieur du tube est estimée inférieure à 100µT.

A noter que la canalisation du champ par le tube acier entraîne mécaniquement des valeurs de champ très importantes au niveau des extrémités, là où les lignes de champ vont se refermer. De la même manière qu'il ne nous est pas possible de modéliser la réduction de champ à l'extérieur du J-Tube, le champ à l'extrémité du J-Tube devra être mesuré après la mise en service pour déterminer si d'éventuelles précautions seront à mettre en œuvre (information des travailleurs et délimitation de la zone sur quelques mètres). On peut également envisager d'interrompre le J-Tube (extrémité) dans une zone non accessible aux travailleurs afin de limiter les contraintes.

2.4. Tableau récapitulatif des valeurs de champ d'induction magnétique

	Au-dessus de la liaison	à 5 m de l'axe d'un circuit de la liaison	à 10 m de l'axe d'un circuit de la liaison	à 100 m de la liaison
Valeur de champ Câble 240 mm ² (enrochement)	Inférieur à 15 µT	négligeable	négligeable	négligeable
Valeur de champ Câble 240 mm ² (ensouillage)	Inférieur à 6 µT	négligeable	négligeable	négligeable
Valeur de champ Câble 800 mm ² (enrochement)	Inférieur à 35 µT	Inférieur à 2 µT	négligeable	négligeable
Valeur de champ Câble 800 mm ² (ensouillage)	Inférieur à 13 µT	Inférieur à 1 µT	négligeable	négligeable
Valeur de champ J-Tube (avec prise en compte effet réducteur)	Inférieur à 90 µT (J-Tube 1,6 cm) - Inférieur à 56 µT (J-Tube 4 cm)	négligeable	négligeable	négligeable

3. Réglementation applicable

- Selon l'article 12 bis de l'Arrêté Technique 2001 :

Limitation des tiers à l'exposition des champs électromagnétiques

« Pour les réseaux électriques en courant alternatif, la position des ouvrages par rapport aux lieux normalement accessibles aux tiers doit être telle que le champ d'induction magnétique n'excède pas **100 µT** dans les conditions de fonctionnement en régime permanent. »

- Selon la directive européenne 2013/35/EU du 26 juin 2013 et son guide d'application :

- La valeur de CM50 d'action basse est fixée à **1 000 µT**. En dessous de ce seuil, aucune action n'est exigée de l'employeur.
- S'agissant de conducteurs isolés, l'isolation permet de garantir un écart suffisant entre la source des CM50 et les travailleurs. Le CM50 de surface s'élève à plusieurs mT mais décroît de manière très rapide avec un facteur $1/d^2$.
- Vis-à-vis des travailleurs à risque particulier, les femmes enceintes et les personnes équipées d'implants médicaux actifs (nécessitant une alimentation électrique ou éléments électroniques), la valeur de CM50 recommandée est la valeur pour le public (**100 µT**).

4. Conclusion

Section du câble	Mode de pose	Champ d'induction magnétique maximal
240 mm ²	Ensouillage	5,5 µT
240 mm ²	Enrochement	14,5 µT
800 mm ²	Ensouillage	13 µT
800 mm ²	Enrochement	34 µT

Mode de pose	Epaisseur d'acier	Champ d'induction magnétique maximal	Champ d'induction magnétique maximal avec effet réducteur du J-Tube
J-Tube	1,6 cm	1 800 µT	< 90 µT
	4 cm	1 110 µT	< 56 µT

Ces résultats permettent de conclure que les champs d'induction magnétique rayonnés par les différentes configurations de câble sous-marins respectent les seuils pour les travailleurs et les tiers.

