

ETUDE PRELIMINAIRE

CALCUL DES CHAMPS ELECTROMAGNETIQUES

1. Introduction

Ce calcul préliminaire vise à déterminer si les transformateurs du projet London Bridge respectent les limites de champ électromagnétique et de flux magnétique conformément aux exigences liées à la législation relative aux établissements classés (énoncées dans le tableau 1.1).

Partout où des gens peuvent séjourner, les valeurs efficaces de l'intensité de champ électrique et de la densité de flux magnétique ne doivent pas dépasser pour une fréquence de 50 Hz les valeurs limites d'immissions suivantes :

Paramètre	Valeur limite
Intensité de champ électrique E_{eff}	5 kV/m
Densité de flux magnétique B_{eff}	100 μ T

Tableau 1.1 - Extrait ICNIRP (<https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdl.pdf>)

L'étude théorique du champ électromagnétique a été réalisée pour les transformateurs et les réactances shunt proposés dans le cadre du projet London Bridge. Les transformateurs comprennent deux unités de 220 kV/13,8 kV situées dans le poste électrique haute tension (HT) sur site, ainsi que 69 transformateurs de 13,8 kV (installés dans les locaux techniques basse tension – systèmes informatiques, locaux techniques mécaniques basse tension et auxiliaires) répartis autour du centre de données. Trois réactances shunt sont associées à chaque transformateur de 220 kV et sont implantées dans le poste électrique HT.

L'évaluation s'est concentrée sur la conformité aux limites réglementaires locales en matière d'intensité du champ électrique et de densité de flux magnétique. Ces limites sont établies afin de garantir la sécurité et la conformité aux directives internationales.

L'analyse prend en compte les paramètres de fonctionnement des transformateurs, tels que la tension, le courant et la puissance à 50 Hz, pour estimer les champs générés en conditions normales d'exploitation.

Les résultats de cette étude confirment que le champ électromagnétique global généré par les transformateurs et les réactances sur le site demeure inférieur aux limites spécifiées, assurant ainsi le respect des exigences définies dans le tableau 1.1.

	Champ électrique <5kV/m	Flux magnétique <100μT
Salle basse tension “mécanique” - Transformateurs	OK	OK
Salle basse tension “électrique” - Systèmes IT - Transformateurs	OK	OK
Transformateurs haute tension	OK	OK
Réactances shunt	OK	OK

Tableau 1.2 - Résumé des résultats

2. Intensité de champ électrique (E_{gf}):

$$E = \frac{V}{R \times \ln\left(\frac{2R}{r}\right)}$$

Où:

E_{gf} = champ électrique (kV/m)

V = Tension (kV)

R = distance entre le conducteur et le point récepteur, selon Pythagore:

$$R = \sqrt{h^2 + d^2}$$

h = Hauteur du conducteur par rapport au sol (m)

d = distance horizontale entre le conducteur et le point récepteur (m)

r = rayon du conducteur au-dessus du sol (m) (hypothèse : 0.05)

Objectif:

$$E_{gf} = < 5 \text{ kV/m}$$

L'étude préliminaire de l'intensité du champ électrique a été réalisée à différents emplacements, en mettant en évidence la distance entre la source et le bâtiment occupé le plus proche.

2.1 Salle basse tension “mécanique” et salle basse tension “électrique” - Systèmes IT - Transformateurs

Le tableau ci-dessous présente les mesures enregistrées à un point situé à 7,7 mètres (distance au bâtiment occupé le plus proche) du transformateur. Les valeurs indiquées dans le tableau sont inférieures au seuil cible de 5 kV/m.

	Salle basse tension “mécanique” Transformateur	Salle basse tension “électrique” - système IT - Transformateur	
Tension	13.8	13.8	kV
Hauteur du conducteur	3	3	m
Rayon du conducteur	0.02	0.02	m
Distance horizontale	58	7.7	m
E	0.03	0.25	kV/m
	PASS	PASS	

Tableau 2.1 - Résumé des résultats - Transformateurs basse tension

2.2. Transformateurs haute tension et réactance

Le poste électrique HT est conçu selon une configuration N+N. L'étude préliminaire a été réalisée en considérant que les deux transformateurs fonctionnent simultanément à charge partielle (scénario le plus défavorable).

2.2.1. Point le plus proche du bâtiment logistique

Le tableau ci-dessous montre la contribution de chaque équipement à l'intensité du champ électrique. Les valeurs indiquées dans le tableau sont inférieures au seuil cible de 5 kV/m.

	Tension (V)	Hauteur du conducteu r(m)	Rayon du conducteu r (m)	Distance horizontal e (m)	E (kV/m)	
Transfo HT 1	220	7.2	0.05	102.85	0.26	OK
Reactor 1A	127	9.7	0.05	129.15	0.11	OK
Reactance 1B	127	9.7	0.05	136.5	0.11	OK
Reactance 1C	127	9.7	0.05	137.7	0.11	OK
Transfo HT 2	220	7.2	0.05	68.5	0.4	OK
Reactance 2A	127	9.7	0.05	65.54	0.24	OK
Reactance 2B	127	9.7	0.05	73.6	0.21	OK
Reactance 2C	127	9.7	0.05	71.7	0.22	OK

Tableau 2.2.1.1 - Résumé des résultats - Réactances et transformateurs HT vers bâtiment logistique

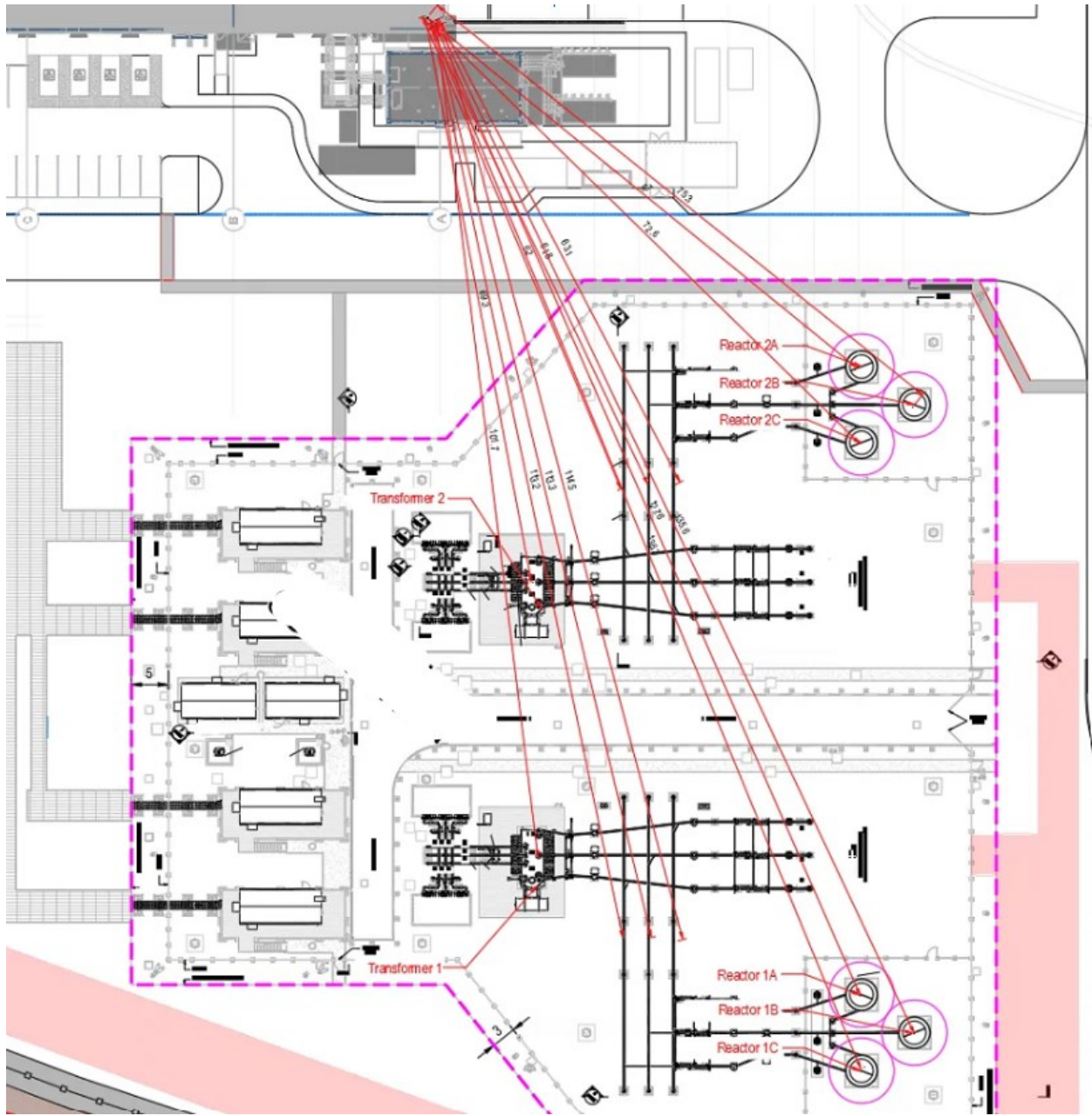


Image 2.2.1.2 - Distance entre les équipements et le bâtiment logistique

2.2.2. Entrepôt le plus proche

Le tableau ci-dessous montre la contribution de chaque équipement à l'intensité du champ électrique. Les valeurs indiquées dans le tableau sont inférieures au seuil cible de 5 kV/m.

	Tension (V)	Hauteur du conducteu r(m)	Rayon du conducteu r (m)	Distance horizontal e (m)	E (kV/m)	
Transfo HT 1	220	7.2	0.05	115.2	0.23	PASS
Reactor 1A	127	9.7	0.05	84.4	0.18	PASS
Reactance 1B	127	9.7	0.05	78.5	0.20	PASS
Reactance 1C	127	9.7	0.05	76	0.21	PASS
Transfo HT 2	220	7.2	0.05	144.5	0.18	PASS
Reactance 2A	127	9.7	0.05	158.2	0.09	PASS
Reactance 2B	127	9.7	0.05	152.5	0.10	PASS
Reactance 2C	127	9.7	0.05	149.5	0.10	PASS

Table 2.2.2.1 - HV Transformer and Reactors to warehouse Results Summary

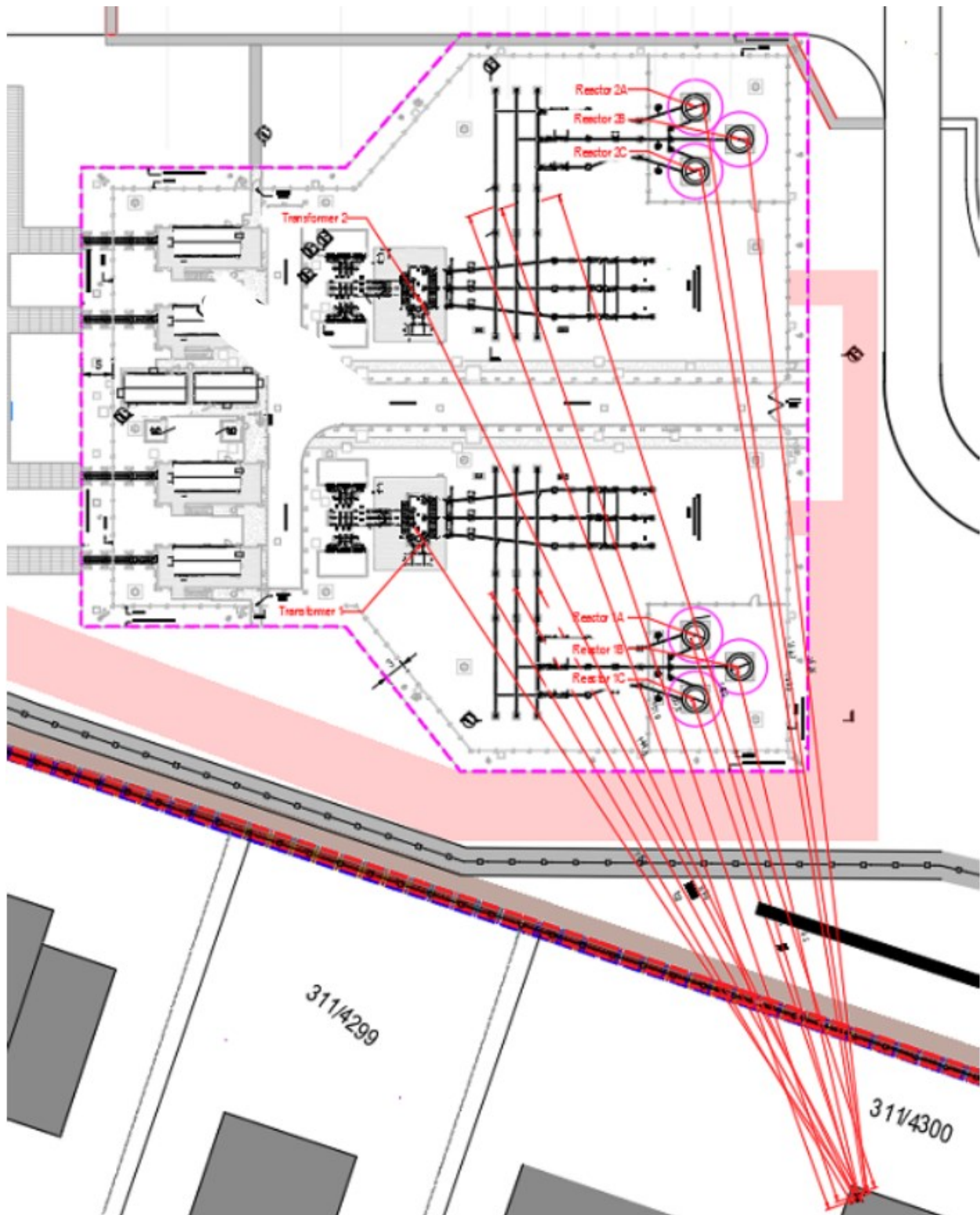


Image 2.2.2.2 - Distance from warehouse to equipment

3. Densité de flux magnétique (B_{gf}):

Pour le calcul du champ magnétique, les informations suivantes ont été fournies par les différents fabricants.

Objectif:

$$B_{gf} = < 100 \mu T$$

3.1. Salle basse tension “mécanique” et salle basse tension “électrique” - Systèmes IT - Transformateurs

L'outil SITRATO a été utilisé pour le calcul de l'intensité du champ magnétique à des points spécifiques. Afin d'assurer la conformité avec les exigences en vigueur, un transformateur de plus grande taille a été sélectionné dans l'outil à des fins de validation.

Comme illustré sur l'image, la densité de flux mesurée à 1,5 mètre s'élève à **62,04 μT** , ce qui reste en dessous du seuil cible. Il est important de noter que SITRATO ne prend pas en compte l'impact des enceintes ni des dispositifs de blindage supplémentaires, lesquels contribueraient à réduire encore davantage la valeur finale.

Le bâtiment le plus proche est situé à 7,7 mètres du transformateur, où la densité de flux calculée atteint **1,44 μT** .

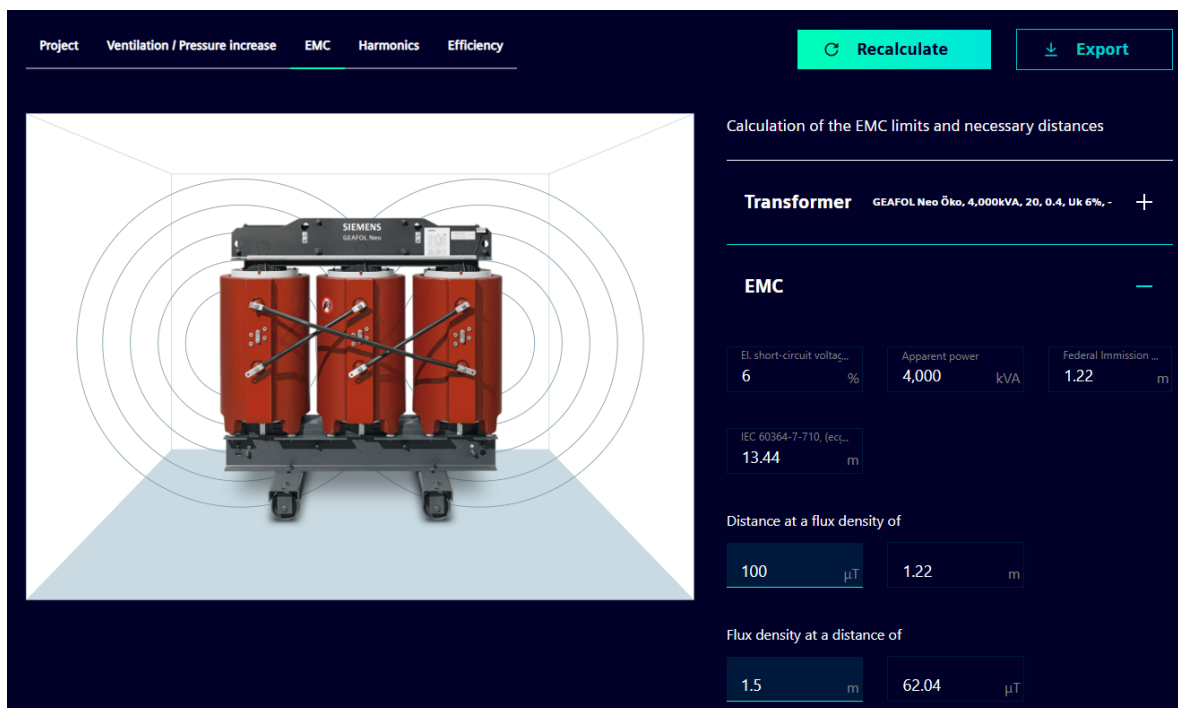


Table 3.1.1 - Image from SITRATO Tool

3.2. Transformateurs haute tension

Selon la fiche technique du fabricant, le transformateur HT génère une densité de flux de 1,68 T à 100 % de la tension, le champ magnétique le plus intense étant concentré au niveau du noyau.

Core geometry	core type
Number of limbs	3
Flux density @ 100% voltage	1.68 T
Flux density @ 110% voltage	1.85 T
Core material	M075-23P_BAO Steel

Tableau 3.2.1 - Fiche technique du transformateur de 120 MVA

Ce flux reste confiné à l'intérieur du noyau, seule une petite fraction s'en échappant sous forme de flux de fuite, ce qui contribue à l'exposition aux champs électromagnétiques (CEM).

En estimant de manière prudente qu'environ 0,1 % du flux du noyau s'échappe, la valeur résultante est de 0,00168 T. De plus, la densité de flux magnétique (B) diminue avec la distance selon la loi de l'inverse du cube : $B \propto 1/r^3$. Cela signifie que plus on s'éloigne du transformateur, plus l'intensité du champ magnétique diminue fortement, ce qui réduit encore davantage l'exposition aux courants électromagnétiques.

Le tableau ci-dessous présente la densité de flux magnétique calculée aux emplacements occupés les plus proches.

	Transfo HT 1	Transfo HT 2	Transfo HT 1	Transfo HT 2	
Source	Bâtiment logistique	Bâtiment logistique	Entrepôt	Entrepôt	
r	102.85	68.5	115.2	144.5	m
B	0.00168	0.00168	0.00168	0.00168	T
B _{gf}	0.002	0.005	0.001	0.001	μT

Table 3.2.2 - Densité de flux magnétique - Résultats des calculs aux bâtiments les plus proches

Sur la base des calculs fournis et des données du fabricant, la densité totale de flux magnétique aux espaces occupés les plus proches est respectivement de 0,007 μT et 0,002 μT , ce qui demeure en dessous du seuil cible. Il convient également de noter que ces calculs ne tiennent pas compte de l'effet des enceintes et des dispositifs de blindage supplémentaires, qui contribueraient à réduire encore davantage la valeur finale.

3.3. Réactances shunt

Selon les informations fournies par le fabricant, les réactances shunt présentent une densité de flux magnétique de 29 μT à une distance de 6 mètres du centre de chaque réactance. Comme dans les cas précédents, le même principe s'applique : l'intensité du champ magnétique diminue de manière significative à mesure que la distance augmente.

Magnetic flux density of such a reactor can be visualized as follows:

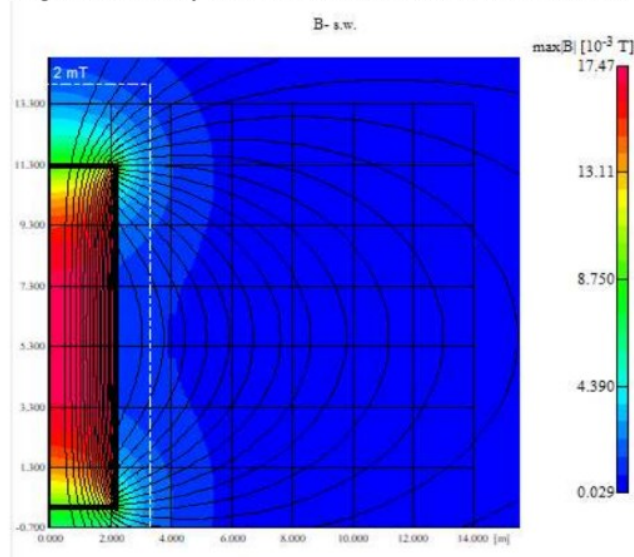


Table 3.3.1 - Information sur les réactances Shunt (email du fabricant - Trench)

Cela suit la loi de l'inverse du cube ($B \propto 1/r^3$), ce qui signifie qu'à mesure que la distance augmente, l'exposition aux champs électromagnétiques diminue progressivement. Ainsi, en

tenant compte des valeurs combinées sur l'ensemble du site, le respect des seuils de sécurité est assuré.

	Réactance shunt 1A	Réactance shunt 1B	Réactance shunt 1C	Réactance shunt 2A	Réactance shunt 2B	Réactance shunt 2C	
Distance	129.15	136.25	137.72	65.54	73.6	71.7	m
B	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	T
B _{gf}	0.013	0.0115	0.0111	0.1030	0.1030	0.0727	μT

Tableau 3.3.1 - Flux magnétique au niveau du bâtiment logistique

	Réactance shunt 1A	Réactance shunt 1B	Réactance shunt 1C	Réactance shunt 2A	Réactance shunt 2B	Réactance shunt 2C	
Distance	84.4	78.5	76	158.2	152.5	149.5	m
B	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	T
B _{gf}	0.013	0.0115	0.0111	0.1030	0.1030	0.0727	μT

Tableau 3.3.2 - Flux magnétique au niveau de l'entrepôt le plus proche

Sur la base des calculs fournis et des données du fabricant, la densité totale de flux magnétique aux espaces occupés les plus proches est respectivement de 0,290 μT et 0,198 μT, ce qui reste en dessous du seuil cible. Il convient également de noter que ces calculs ne prennent pas en compte l'effet des enceintes ni des dispositifs de blindage supplémentaires, qui contribueraient à réduire encore davantage la valeur finale.

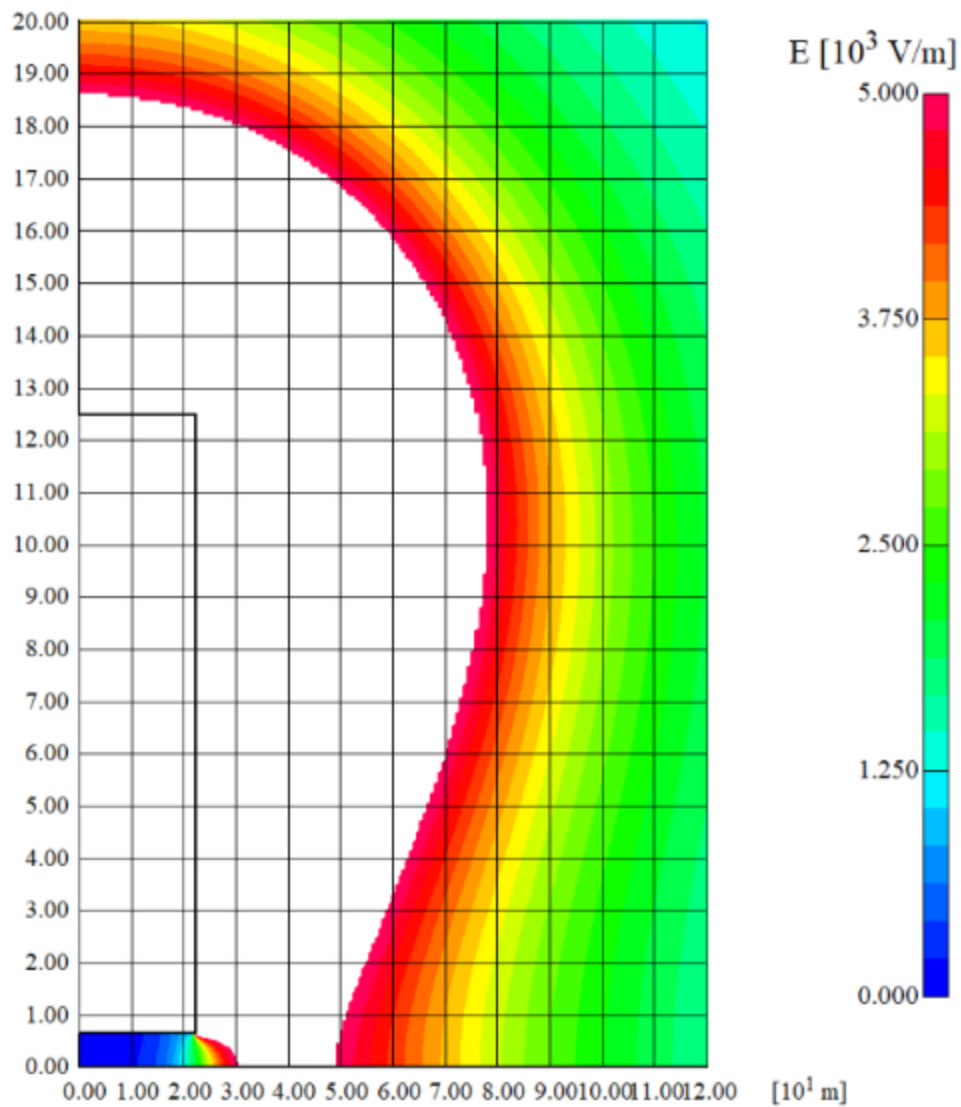
4. Conclusion

L'étude théorique présentée dans les sections précédentes confirme que le champ électromagnétique global généré par les transformateurs et les réactances sur le site demeure en dessous des limites spécifiées, garantissant ainsi la conformité aux exigences du permis Commodo telles qu'indiquées dans le tableau 1.1.

Bien que cette étude théorique ait été réalisée avec un souci de précision, les résultats réels peuvent varier dans des conditions d'exploitation en situation réelle.

Annexe 1 - Réactances shunt - Informations relatives au champ électrique

Après avoir terminé le calcul du champ électrique, nous avons reçu des données complémentaires du fabricant des réactances shunt, Trench. Le graphique illustre la variation du champ électrique de la réactance en fonction de la distance, confirmant ainsi l'exactitude des calculs établis de manière empirique.



Plot 2, black-white. Limit 5 kV/m rms.

Tableau 4.1 - Information relative aux réactances shunt (email du fabricant - Trench)