



Base camp of Annapurna I

Jacques Antille
Chemin des Pruniers 9
1967 Bramois
E-mail: jacques.antille@bluewin.ch

Prédictions de l'induction magnétique et tension induite au voisinage du pylône 162 (sous le téléphérique Chalais-Vercorin)

Version 1.0
Mars 2023
J. Antille

Contents

1	Introduction	1
2	Modélisation de la ligne THT	2
2.1	Description	2
2.2	Calcul de l'induction magnétique \vec{B}	7
2.2.1	Au niveau de l'axe du profil en long	8
2.2.2	Sur le chemin de la dérupe	9
2.2.3	Au niveau de la cabine du téléphérique	9
2.2.4	Au niveau de la ferme des Crétilons	10
2.3	Estimation de la tension induite	11
2.3.1	Dans un parc exploité par la ferme des Crétilons	11
2.3.2	Au niveau de la cabine du téléphérique	11
3	Conclusions	14

Chapter 1

Introduction

Ce rapport a pour objet l'impact du tronçon de la ligne THT Chamoson-Chippis (pylône 161 jusqu'au 164) d'un point de vue magnétique et tension induite dans le voisinage du téléphérique Chalais-Vercorin.

En mai 2019, j'avais réalisé une étude concernant les prédictions de l'induction magnétique de la ligne aérienne au niveau du cycle de Grône, de la ferme des Crétilons et des vignes situées à Planmont exposées sous la ligne (cf. rapport 20190517-magnetique.pdf téléchargeable depuis le site:www.THT-vs.ch). En décembre de la même année, j'ai complété l'étude par le calcul de l'induction magnétique \vec{B} sous le pylône 162. (cf. rapport 20191201-pylône162.pdf). A cette époque Swissgrid m'avait transmis la hauteur des pylônes et le 162 avait une silhouette conventionnelle d'une hauteur seulement de 36.58 m. (e-mail d'Alain Bonny de Swissgrid daté du 28 mai 2019). Selon les termes de Mr. Bonny: *Le pylône 162 est situé sous le téléphérique Chalais-Vercorin, nous devons de ce fait fortement abaisser la ligne afin de respecter la distance requise vis à vis de cette installation.* Avec ces données, j'ai calculé la valeur de B_{eff} au niveau du sol sous le téléphérique et B_{eff} atteint $118\mu T$, i.e. une valeur supérieure au $100\mu T$ défini dans l'ordonnance sur la protection contre le rayonnement non ionisant (ORNI). Comme l'implémentation du pylône 162 ne correspond plus aux calculs précédents, j'ai décidé de mettre à jour ces calculs et de compléter cette étude sur des considérations liées aux tensions induites dans un parc pour animaux exploité par la ferme des Crétilons et le téléphérique qui a subi des pannes à répétitions.

Tous les résultats présentés dans les chapitres suivants ont été calculés à l'aide du programme MONA, lequel signifie *MOdèle Numérique pour l'Aluminium*. Ce programme résulte d'une collaboration de plus de 20 ans que j'ai effectuée entre la défunte Alusuisse et l'EPFL.

La ligne est entièrement modélisée selon la configuration réelle implémentée. En effet la position spatiale des câbles sur le pylône 162 a été mesurée. Par conséquent les résultats correspondent à une modélisation réaliste de la ligne.

Enfin un dernier commentaire concernant les mesures de l'induction magnétique efficace B_{eff} au centre scolaire de Grône (<http://www.champ-magnetique-grone.ch>). Cette station de mesures se trouve dans le bâtiment scolaire du cycle de Grône, à 97 m de l'axe de la ligne et correspond à l'endroit calculé dans mon étude de 2019. A pleine capacité, la ligne produit une valeur de $B_{eff} = 0.126\mu T$ à cet endroit. L'instrument retenu pour effectuer les mesures est un Maschek ESM-100. Il est important de relever que cet instrument comporte trois sondes orthogonales, i.e. que l'appareil mesure bien la valeur totale de l'induction magnétique B_{eff} et ainsi reflète la charge de la ligne. Autrement dit on peut utiliser ces valeurs pour calibrer d'autres grandeurs.(cf. paragraphe 2.2.1 et 2.3.1)

Chapter 2

Modélisation de la ligne THT

2.1 Description

Sans rentrer dans les détails, ça dépasserait le cadre de ce rapport, pour modéliser la ligne il faut connaître :

- La silhouette des pylônes
- La positions des pylônes
- La position pour chaque terre des phases
- L'identification des phases
- Le courant dans chacune d'elle
- La flexion des conducteurs reliant les pylônes

Le seul document qui m'a été fourni concernant le pylône 162 est celui dit: "*Le parcellaire, coupe ORNI*" (référence [1]), présenté sur la figure 2.1. Ce document montre grossièrement la silhouette du pylône 162, l'isoline correspondant à la valeur de $100\mu T$ et la position du bas du téléphérique. La distance de la phase la plus proche au sol est estimée à environ 12 m. Ce qui frappe dans ce document c'est la médiocrité de la géométrie du dessin du pylône.

Pour connaître la position spatiale des conducteurs qui arrivent et qui repartent du pylône 162, j'ai mandaté le bureau de géomètre **IG group SA Chalais** pour effectuer ces mesures. Ce bureau a procédé à un relevé par laserscan afin d'obtenir un nuage de points dont ils ont extrait les coordonnées souhaitées. Toutes les coordonnées sont en MN95, i.e. Est-Ouest, Nord-Sud et l'altitude. La précision de mesure est mieux que 5 cm. Pour les coordonnées planimétriques, l'origine est située à Berne, les coordonnées attribuées à ce point sont les suivantes: E = 2 600 000 m (Est) et N = 1 200 000 m (Nord).

Les plans suivants ont été établis par IG group SA Chalais:

- Profil du pylône central
- Profil en long
- Plan de situation avec topographie et coordonnées en 3D des points

Ces plans apparaissent respectivement sur les figures 2.2, 2.3 et 2.4. Sur la figure 2.3, la distance mesurée de la phase la plus proche (phase S) au sol vaut 9.57 m et non 12 m estimé sur le plan de Swissgrid! La distance minimale d entre la ligne et le sol, selon l'ordonnance du 30 mars 1994 sur les lignes électriques (OLEI), annexe 3 vaut:

$$d = 7.5 + s \tag{2.1}$$

où $s = 0.01 \text{ m/KV}$ de tension nominal. Dans notre cas, la tension de la phase S à la terre vaut $220 \text{ KV}/\sqrt{3} = 127 \text{ KV}$ soit:

$$d = 7.5 \text{ m} + 0.01 \times 127 = 8.77 \text{ m} \tag{2.2}$$

la distance minimale est respectée mais la marge de 80 cm est très faible.

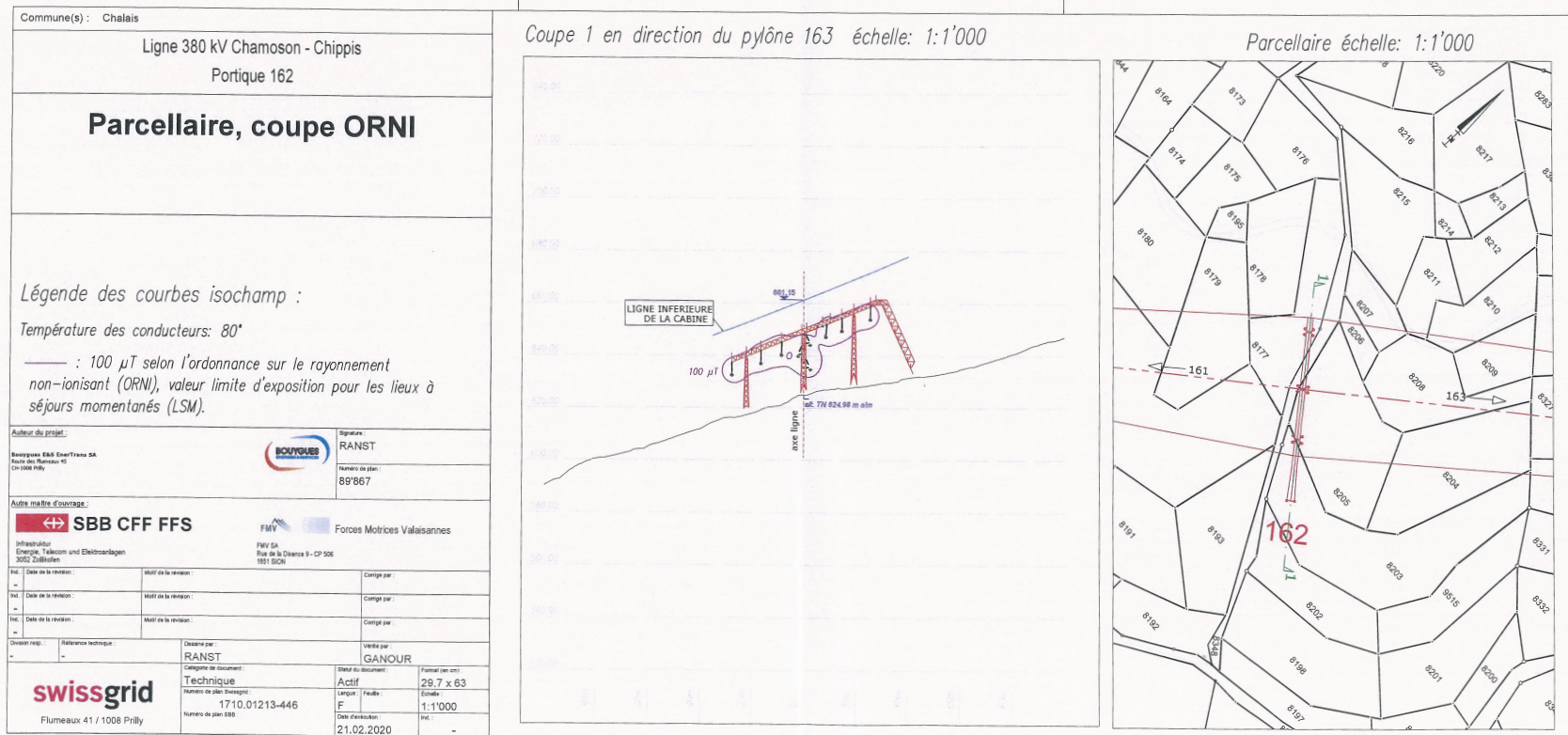




Figure 2.1: Document Swissgrid "Le parcelleire et coupe ORNI du 21 février 2020".

Commune : Chalais			Etabli: 02.12.2022	 ingénieurs & géomètres Route de Chippis 44 / 3966 Chalais chalais@ig-group.ch www.ig-group.ch 027/458 14 50	
Nom local	1:250		Plan : 52		

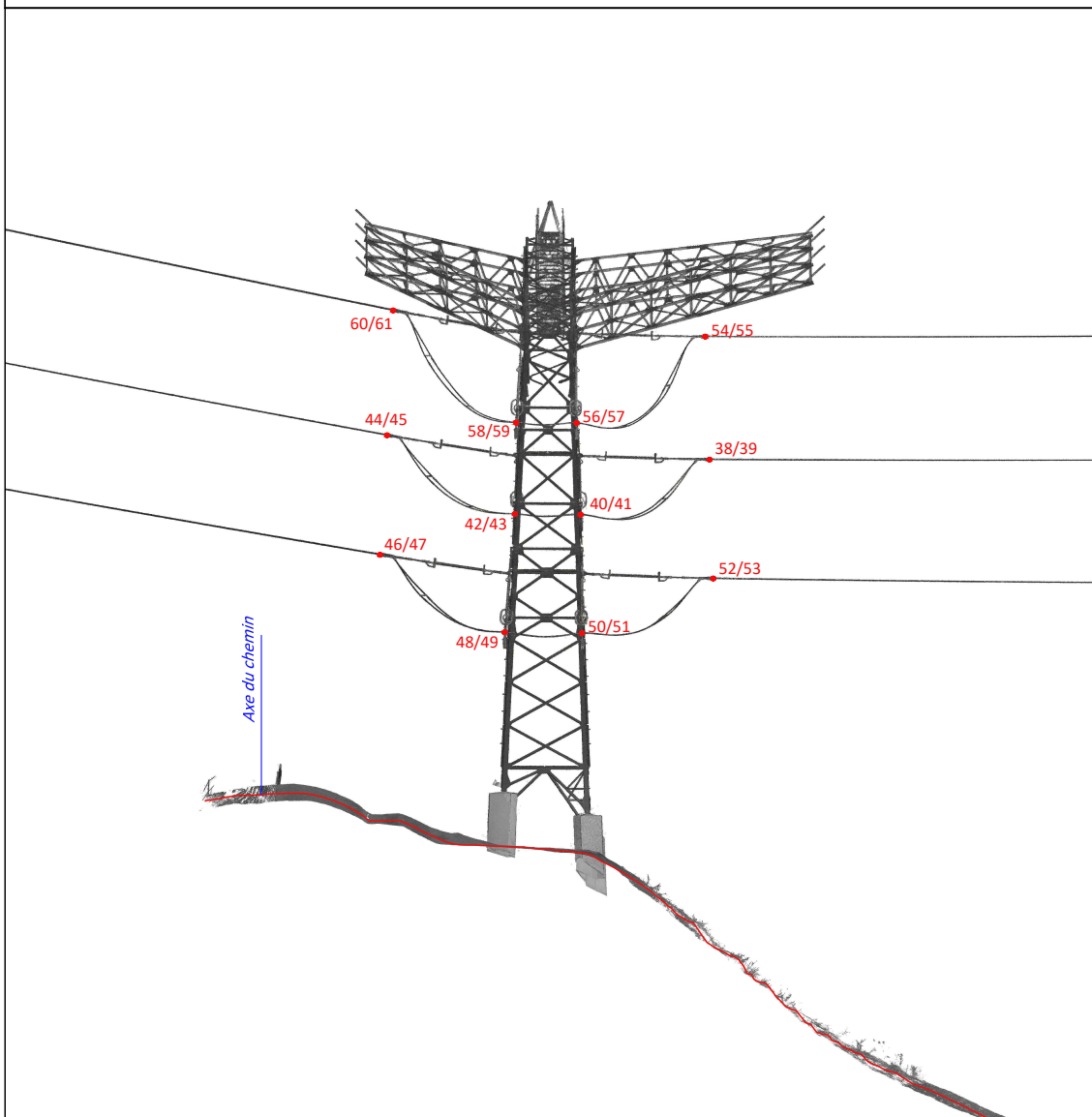
Profil Pylône central

Z10362/MC

Information sur le plan et le relevé

Ce relevé topographique a été réalisé sur la base de mesures GNSS et laserscan sur le terrain en date du 23.11.2022

— Terrain naturel à l'axe défini sur le plan topographique



La signature de l'ingénieur géomètre breveté engage sa responsabilité uniquement pour les données de la mensuration officielle ainsi que les éléments relevés par ses soins.

L'utilisation de ce plan à des fins commerciales et pour des publications de tout genre est soumise à autorisation (art.2, 2e alinéa, de la loi fédérale du 21 juin 1985 concernant l'établissement des nouvelles cartes nationales) Les infractions peuvent être poursuivies par voie pénale.

Laurent Elzingre
Ingénieur géomètre breveté
1950 Sion

Figure 2.2: Profil du pylône central (162) avec indications des numéros des points pour le terrain 220KV.

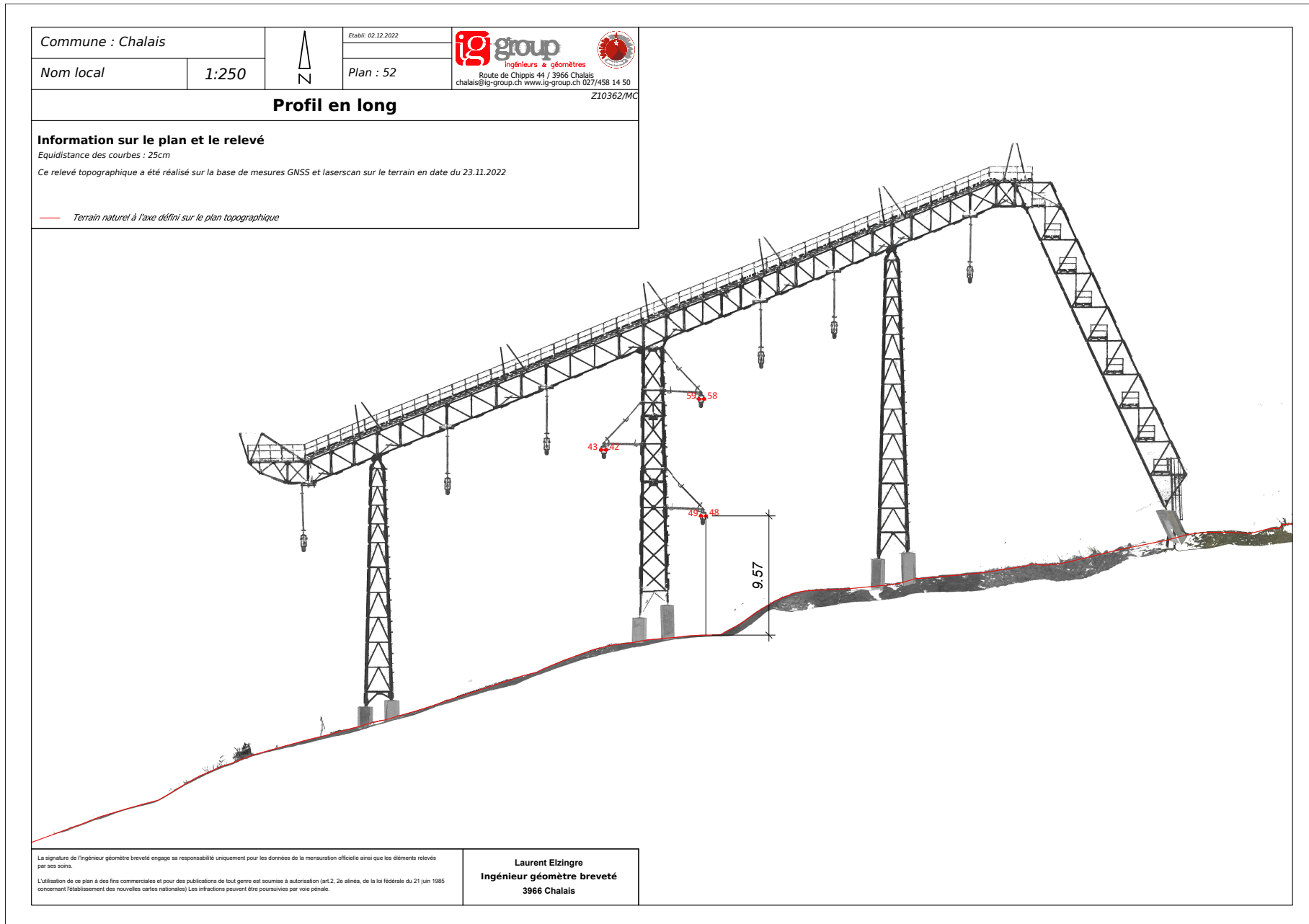


Figure 2.3: Profil en long du pylône 162).

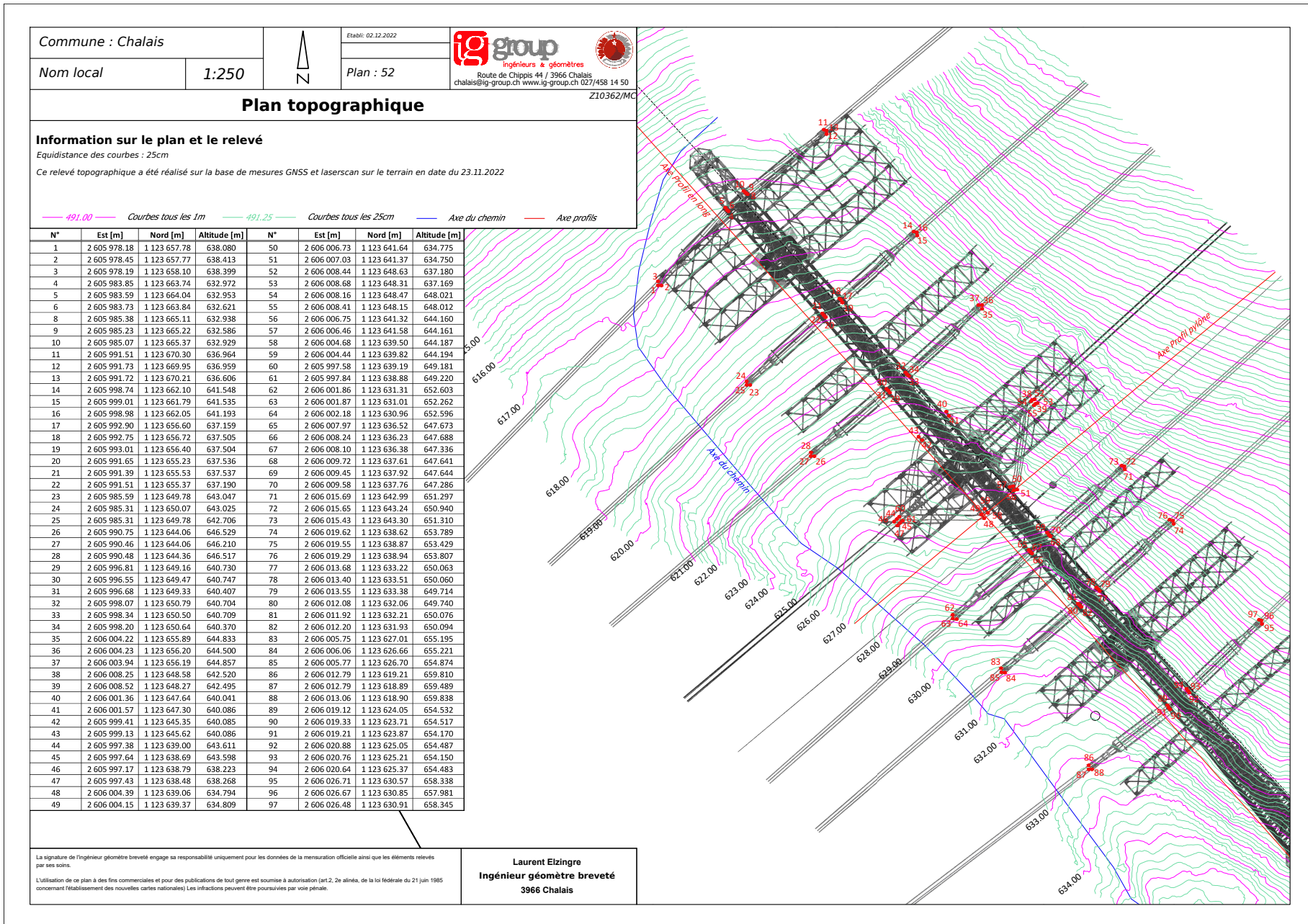


Figure 2.4: Plan de situation avec topographie et coordonnées en 3D des points.

La ligne est représentée sur la figure 2.5, la silhouette des pylônes 161, 163 et 164 est dessinée schématiquement. La ferme des Créteilons ainsi que la trajectoire du téléphérique sont indiquées. Sur la figure 2.6, les courants dans les conducteurs sont présentés par des flèches, à un instant donné. Rappelons que le courant change en fonction du temps. Chaque phase des ternes 380 KV est composée de 3 conducteurs alors que le terna 220 KV n'en comporte que 2. Sur la figure 2.7 on distingue la configuration des conducteurs sur le pylône 162.

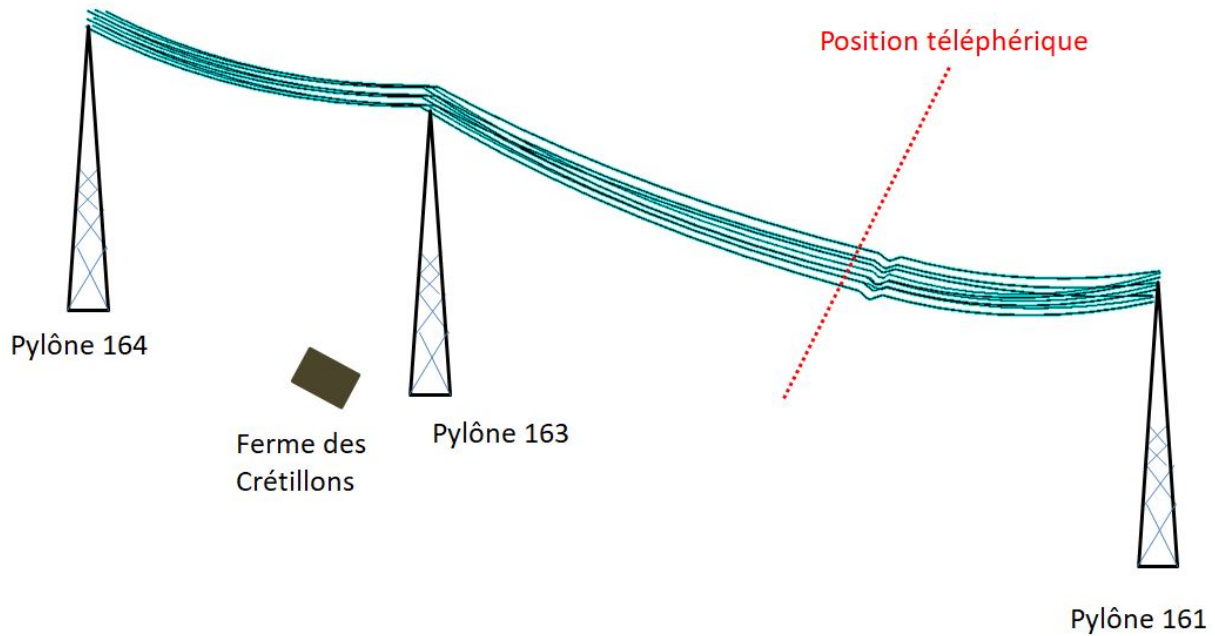


Figure 2.5: Représentation de la ligne THT du pylône 161 jusqu'au 164.

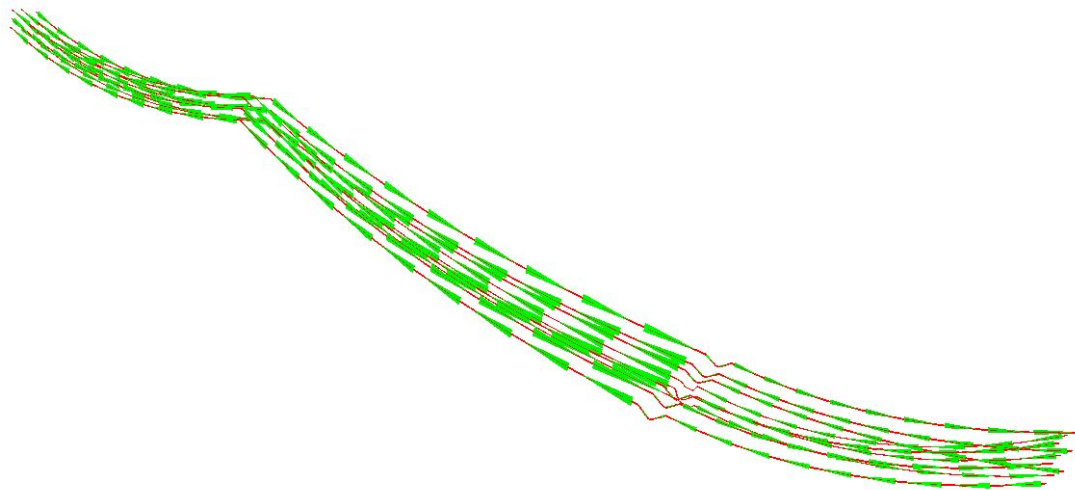


Figure 2.6: Représentation de la ligne THT du pylône 161 jusqu'au 164, avec indication du sens du courant.

2.2 Calcul de l'induction magnétique \vec{B}

La ligne est modélisée par une succession de conducteurs rectilignes qui vérifient les lois de Kirchhoff. Ainsi, pour calculer l'induction magnétique \vec{B} à un point donné, il suffit de calculer la contribution de chacun des conducteurs qui composent la ligne par l'application de la formule de Biot-Savart:

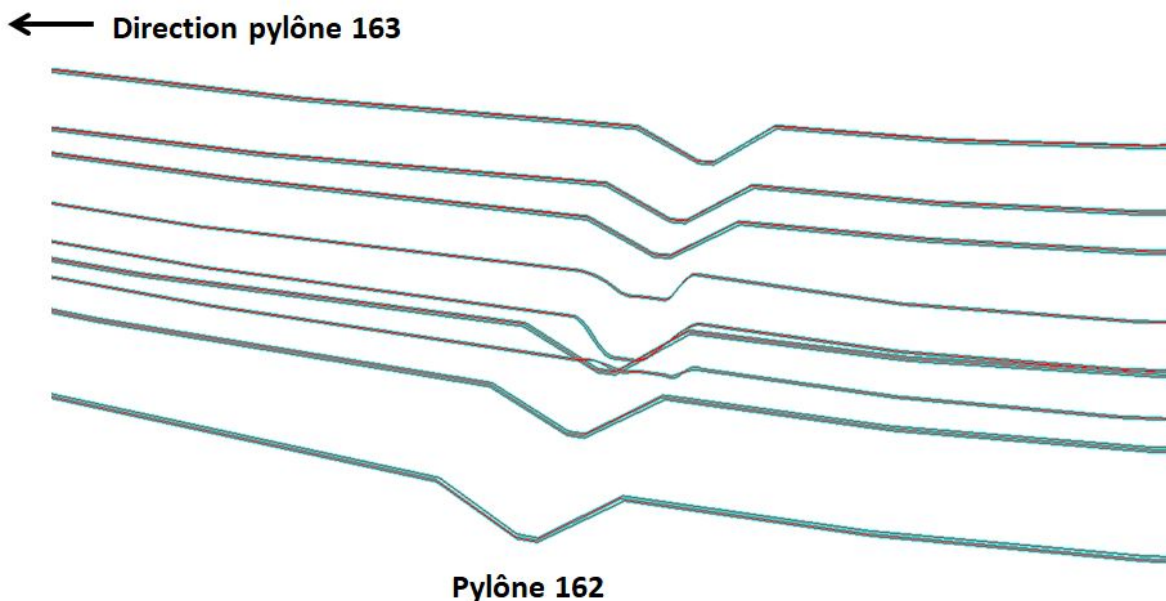


Figure 2.7: Zoom des conducteurs associés au pylône 162.

$$\vec{dB} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{segment} \frac{i \vec{dl} \times \vec{r}}{r^3} \quad (2.3)$$

L'équation 2.3 exprime la contribution d'un élément infinitésimal \vec{dl} de la ligne au champ d'induction magnétique \vec{B} en un point donné distant de r . On voit que la contribution est inversement proportionnelle au carré de la distance.

Rappelons que selon l'ordonnance sur la protection contre le rayonnement non ionisant (ORNI), la valeur limite de l'installation est de $1\mu T$ pour la valeur efficace de la densité de flux magnétique \vec{B} pour les zones sensibles et $100\mu T$ pour les lieux de séjour momentané. La valeur efficace de la densité de flux magnétique \vec{B} est définie comme suit:

$$B_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T B(t)^2 \cdot dt} \quad (2.4)$$

L'équation 2.4 indique que l'induction magnétique \vec{B} doit être évaluée sur une période. Le courant maximum par phase dans le terne 380KV vaut 2230 A et celui à 220KV de 2240 A.

2.2.1 Au niveau de l'axe du profil en long

Les points situés sur le profil en long où l'induction magnétique B_{eff} a été calculée sont indiqués sur la figure 2.8:

Les valeurs de B_{eff} sont résumées dans le tableau 2.1:

Table 2.1: Valeur de l'induction magnétique B_{eff} au points 1 à 5.

Point	B_{eff} (μT)
1	1.21
2	4.93
3	7.83
4	1.89
5	7.54

Le point 3 est situé à 1.5 m au-dessus du sol, et la valeur de $|\vec{B}|$ mesurée par l'Etat du Valais le 22

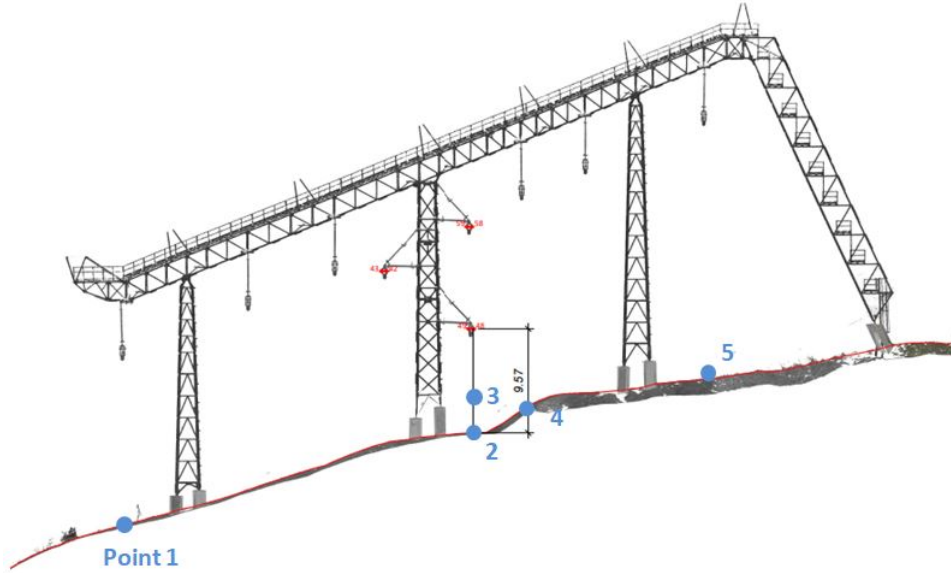


Figure 2.8: Position des points sur le profil en long où l'induction magnétique a été calculée.

novembre 2022 était de $2.4 \mu T$ (référence [2]). Ce jour là, la valeur de B_{eff} relevée au cycle de Grône valait $4.3 \mu T$, soit un facteur de normalisation égal à 2.9 ($\frac{-126}{.043}$). Compte tenu de ce facteur on obtient $7 \mu T$ qui est proche de la valeur calculée ($7.8 \mu T$).

2.2.2 Sur le chemin de la dérupe

Les points situés sur le chemin de la dérupe où l'induction magnétique B_{eff} a été calculée sont indiqués sur la figure 2.9:

Les valeurs de B_{eff} sont résumées dans le tableau 2.2:

Table 2.2: Valeur de l'induction magnétique B_{eff} aux points 6 à 8.

Point	B_{eff} (μT)
6	1.37
7	4.34
8	9.4

2.2.3 Au niveau de la cabine du téléphérique

Les points situés sur la ligne inférieure de la cabine du téléphérique où l'induction magnétique B_{eff} a été calculée sont indiqués sur la figure 2.10. Cette ligne, selon le schéma de Swissgrid est située à l'altitude de 661.15 m au-dessus du pilier central.

Les valeurs de B_{eff} sont résumées dans le tableau 2.3:

Table 2.3: Valeur de l'induction magnétique B_{eff} aux points 9 à 11.

Point	B_{eff} (μT)
9	11.2
10	26.1
11	13.9

L'induction magnétique est la plus élevée au dessus du pilier central. La position de la ligne inférieure de la cabine du téléphérique dépend du nombre de personnes à l'intérieur. Par exemple, si cette ligne se

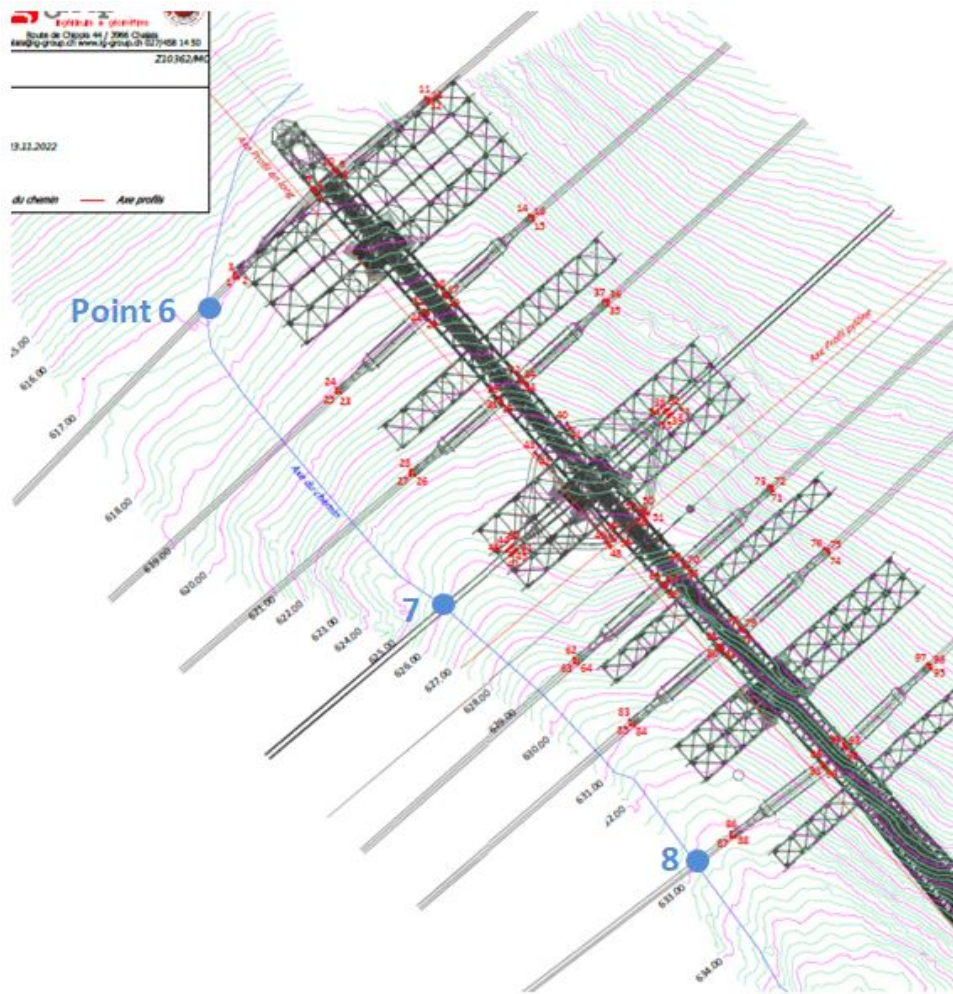


Figure 2.9: Position des points sur le chemin de la dérûpe où l'induction magnétique a été calculée.

trouve 3m plus bas, l'induction magnétique grimpe à $35 \mu T$.

2.2.4 Au niveau de la ferme des Créteilons

La figure 2.11 montre la position du point calculé de l'induction magnétique B_{eff} au niveau de la maison d'habitation, à 6.16 m du sol. Ce point se trouve dans une chambre à l'étage et correspond à l'endroit au B_{eff} est le plus élevé.

Les valeurs de B_{eff} sont résumées dans le tableau 2.4:

Table 2.4: Valeur de l'induction magnétique B_{eff} au point 12 (Ferme des Créteilons).

Point	B_{eff} (μT)	Commentaire
12	0.32	calculé en 2019
12	0.43	calculé en 2023

La valeur de B_{eff} a augmenté entre ces deux calculs. Le calcul effectué en 2019 l'était au niveau du sol et prenait en compte une silhouette conventionnelle du pylône 162, alors que le dernier calcul se situe à 6.16 m du sol et tient compte de la silhouette du pylône 162 comme implémentée.

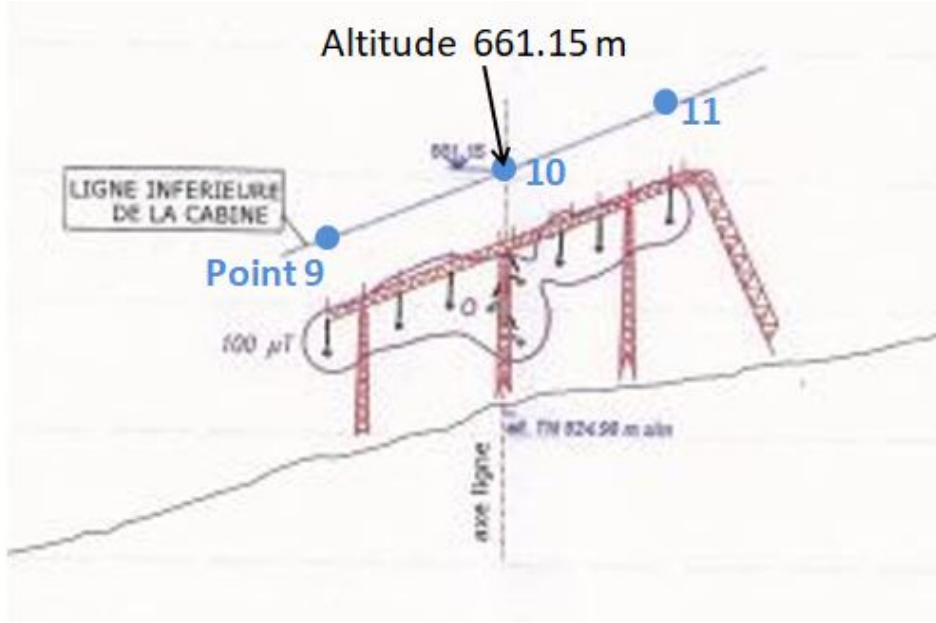


Figure 2.10: Position des points sur la ligne inférieure de la cabine du téléphérique où l'induction magnétique a été calculée.

2.3 Estimation de la tension induite

C'est Faraday qui a proposé la loi permettant de calculer la tension induite dans une spire. La variation du flux Φ de \vec{B} à travers une surface s'appuyant sur un contour crée une tension. On peut écrire cette loi sous la forme suivante:

$$\varphi = -\frac{d}{dt}(\Phi_B) = -\frac{d}{dt} \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} \quad (2.5)$$

2.3.1 Dans un parc exploité par la ferme des Crétilons

Le matin du 10 octobre 2022, j'ai effectué des mesures de tension avec le bureau BORGÉAT ELECTRICITE SA, sur un parc exploité par la ferme des Crétilons. Ce parc est schématiquement représenté sur la figure 2.12, proche de la ligne THT. Il est constitué par un filet contenant des fils électriques. La dimension du parc est de $231 \times 91 \text{ m}^2$. La tension mesurée était de l'ordre de 250 V!, et la valeur de B_{eff} enregistrée à Grône valait $0.06 \mu T$. Ainsi la ligne était chargée à 50 %. Pour une exploitation de la ligne à 100 % la tension induite dans ce parc serait de 500 V. Une telle valeur a des conséquences sur l'exploitation des clôtures à bétail.

Pour estimer la tension induite dans ce parc, il faut résoudre l'équation 2.5. Sans rentrer dans les détails, il faut décomposer la surface du parc par des éléments de surface suffisamment petits, pour lesquels l'induction magnétique \vec{B} sera constante par élément puis effectuer le produit scalaire $\vec{B} \cdot d\vec{S}$, et sommer la contribution de chaque élément de surface. Ceci doit se faire en fonction du temps, pour déterminer la variation temporelle du flux d'induction magnétique à travers toute la surface. En faisant appel à de l'analyse numérique pour résoudre l'équation 2.5, on obtient une tension induite dans le parc de 451 V, qui est proche de la valeur estimée de 500 V correspondant à la pleine capacité de la ligne. D'un point de vue de l'exploitant du parc, on peut imaginer de fractionner le pourtour du parc pour limiter la tension induite.

2.3.2 Au niveau de la cabine du téléphérique

La situation dans ce cas est un peu plus délicate, car en toute rigueur un terme supplémentaire apparaît dans le développement de l'équation 2.5, qui s'écrit comme suit:

$$\varphi = -\frac{d}{dt}(\Phi_B) = -\iint_S \frac{d\vec{B}}{dt} \cdot d\vec{S} - \iint_S \vec{B} \cdot \frac{d\vec{S}}{dt} \quad (2.6)$$

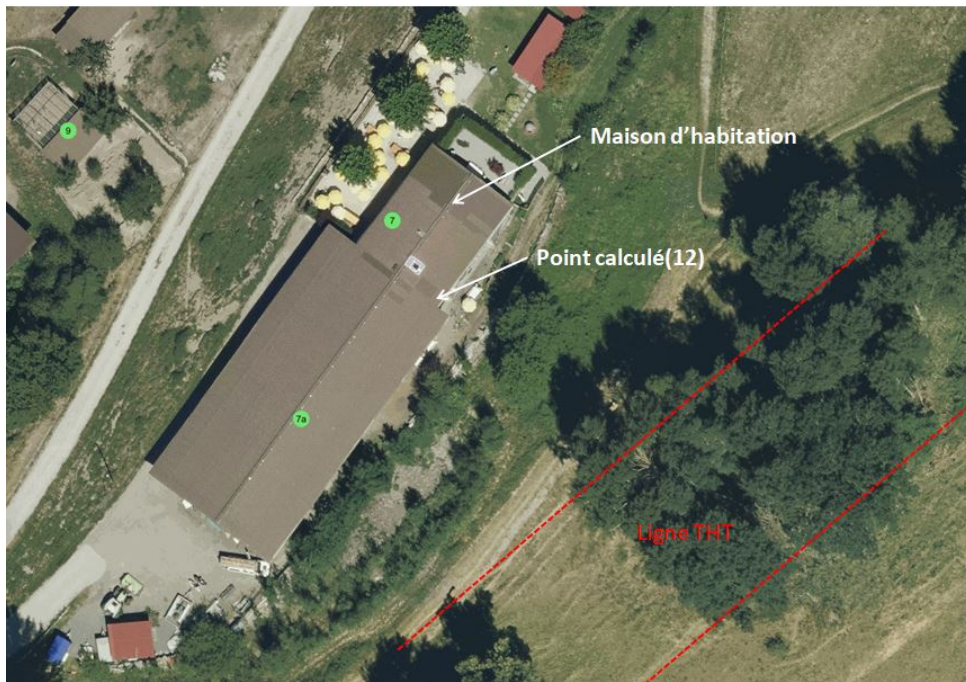


Figure 2.11: Position du point calculé de l'induction magnétique B_{eff}

Pour simplifier les calculs, on néglige la contribution due au déplacement du téléphérique et on résout l'équation 2.6 au point 10, correspondant au pilier central à la hauteur de la ligne inférieure de la cabine définie par Swissgrid.

En prenant une approche similaire au cas précédent, on trouve que la tension induite dans le téléphérique est de l'ordre de 10 V.

Le câble porteur constitue aussi une boucle de courant avec le retour à la terre. La section de cette boucle est énorme, mais l'induction magnétique \vec{B} est en gros perpendiculaire à la surface générée par la boucle, donc le produit scalaire $\vec{B} \cdot d\vec{S}$ est faible. Je n'ai pas pris en compte cet aspect, i.e. mon approche est minimaliste mais néanmoins on peut affirmer que la tension induite est plus grande ou égale à 10V. Une telle valeur a des conséquences sur l'infrastructure électrique (relais-composants électroniques). Il faut impérativement relier à la terre la cabine pour éviter que les circuits électriques soient perturbés.

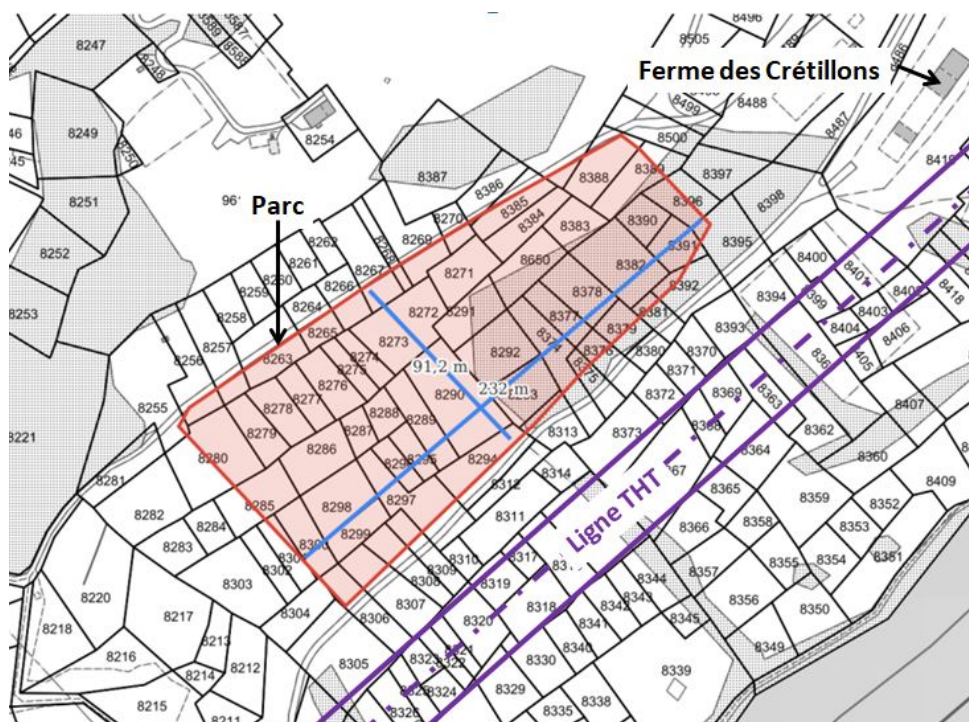


Figure 2.12: Représentation du parc pour animaux exploité par la ferme des Créteilons proche de la ligne THT.

Chapter 3

Conclusions

- J'ai procédé à une campagne de mesures pour connaître la position des conducteurs sur le pylône 162.
- La phase S de la ligne 220 KV est à une distance verticale de 9.57 m du sol. Cette faible distance est malgré tout respectée par l'ordonnance (OLEI) avec une marge de 80 cm.
- La ligne THT a été modélisée du pylône 161 au 164.
- L'induction magnétique \vec{B} générée par les courants des deux ternes 380KV et 220KV a été calculée à pleine charge, correspondant à un courant de 2230 A et 2240 A par phase respectivement pour la ligne 380KV et 220KV.
- La valeur de l'induction magnétique efficace B_{eff} calculée sur l'axe du profil en long (parallèle aux pylônes) atteint $7.8 \mu T$ au maximum, inférieure à la limite de $100 \mu T$ pour les lieux de séjour momentané.
- La valeur de l'induction magnétique efficace B_{eff} calculée sur le chemin de la dérupe atteint $9.4 \mu T$ au maximum, inférieure à la limite de $100 \mu T$ pour les lieux de séjour momentané.
- La valeur de l'induction magnétique efficace B_{eff} calculée au niveau du téléphérique atteint $26.1 \mu T$ au maximum, en prenant la ligne inférieure de la cabine définie par Swissgrid comme référence. Cette valeur dépend de la charge du téléphérique et peut augmenter significativement. En prenant la référence ci-dessus, la valeur de $B_{eff} = 26.1 \mu T$ est inférieure à la limite de $100 \mu T$ pour les lieux de séjour momentané.
- La valeur de l'induction magnétique efficace B_{eff} a été recalculée au niveau de la ferme des Crétilons. Initialement, la valeur de B_{eff} valait $0.32 \mu T$ (calculé en 2019) et la mise à jour de la configuration de la ligne donne $B_{eff} = 0.43 \mu T$, inférieure à la limite de $1 \mu T$ pour les lieux à utilisation sensible.
- La tension induite par la ligne a été estimée dans un parc ($231 \times 91 m^2$) exploité par la ferme des Crétilons. A pleine charge la tension induite atteint 451 V, valeur comparable à celle mesurée à pleine charge de 500 V. Une telle valeur a des conséquences sur la gestion des clôtures.
- La tension induite par la ligne a été estimée dans la cabine du téléphérique. Malgré une approche minimaliste, la tension induite est supérieure à 10V et contribue à perturber le fonctionnement des circuits électriques.
- Le rapport de l'induction magnétique efficace B_{eff} mesurée au centre scolaire de Grône (<http://www.champ-magnetique-grone.ch>) avec $B_{eff} = 0.126 \mu T$ correspondant à la valeur de B_{eff} calculée au même endroit à pleine charge, donne la charge de la ligne.
- Les calculs d'induction magnétique \vec{B} montrent que Swissgrid a dimensionné correctement la ligne, puisque toutes les valeurs satisfont les normes ORNI, cependant ça ne veut rien dire sur l'aspect esthétique de la ligne et son impact sur le paysage, c'est une toute autre question.

Recommandations

- Procéder à une campagne de mesures pour confirmer les valeurs de l'induction magnétique efficace B_{eff} pour tous les points calculés dans ce rapport.

- Mesurer l'induction magnétique efficace B_{eff} dans la cabine du téléphérique.
- Mesurer la position actuelle du téléphérique et comparer avec la ligne inférieure de la cabine définie par Swissgrid.

Les mesures peuvent être réalisées par le groupe du Prof. Joseph Moerschell de la HES/Sion. Par souci de clarté, il faut d'abord mandater Swissgrid qui délèguera ce travail au Prof. Joseph Moerschell.

J.D.1.16

Dr. Jacques Antille

Bibliography

- [1] Document Swissgrid, Le parcellaire, coupe ORNI, portique 162
- [2] Catherine Pralong Fauchère, David Bezzi, Mesures indicatives de densité de flux magnétique