



**« Highlights » de mes études**  
**THT 380/220KV aérienne - enfouie**

**Avril, 2020**

**Jacques Antille**  
**Chemin des Pruniers 9 /1967 Bramois**  
**E-mail:[jacques.antille@bluewin.ch](mailto:jacques.antille@bluewin.ch)**  
**Mobile: 079 205 27 51**

# Ligne THT 380/220KV – ligne enterrée

---

« Highlights » des études de J. Antille

## Liste des documents associés

Document : 20190517-magnetique

Document : 20191201-pylône162

Document : 20191226-thermique

Document : 20200301-KAN-NAK-Report

(Re-calculation de l'étude 2016 basée sur un micro tunnel)

Document : 20200330-estimation-coûts

Document : 20200418-estimation-pertes

Document : 20200430-Réseau Stratégique

Document : 20211231-HVDC-525KV

# Ligne THT 380/220KV – ligne enterrée

## « Highlights » des études de J. Antille

### Document : 20190517-magnetique

- Cette première étude a pour but:
  - 1) de vérifier les calculs de Swissgrid (cas du cycle de Grône, la ferme des Crétilons et de prédire l'induction magnétique entre deux pylônes)
  - 2) de trouver une solution pour la ligne enterrée.
- L'ordonnance sur la protection contre le rayonnement non ionisant (ORNI), définit: la valeur limite de l'installation est de 1 µT pour la valeur efficace de la densité de flux magnétique partout où des personnes peuvent séjourner. Ailleurs cette valeur vaut 100 µT. La valeur de  $B_{eff}$  est définie comme suit:

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

Ainsi la valeur maximum de l'induction magnétique vaut racine de 2 fois la valeur efficace. L'être humain est sensible à la valeur maximum de B.

# Ligne THT 380/220KV – ligne enterrée

## « Highlights » des études de J. Antille

### Document : 20190517-magnetique (suite 1)

- les prédictions pour la salle de gymnastique de Grône sont  $B_{\text{eff}} = 0.126 \mu\text{T}$  en accord avec Swissgrid
- pour la ferme des crétilons, initialement la hauteur du pylône était de 58m, dans ce cas  $B_{\text{eff}} > 1 \mu\text{T}$ , c'est la raison pour laquelle Swissgrid a opté pour un pylône de 97.2m, ainsi  $B_{\text{eff}} = 0.32 \mu\text{T}$  et respecte les normes.
- La flexion des câbles est de l'ordre de 22m pour une portée de 400m. Ainsi l'induction magnétique au niveau du sol est maximum entre deux pylônes (en supposant que la hauteur des pylônes est la même ainsi que leur altimétrie).
- $B_{\text{eff}}$  atteint  $70 \mu\text{T}$  entre les pylônes pour une hauteur de 58 m. La valeur maximum de B est ainsi de  $70 \times \text{racine}(2) = 100 \mu\text{T}$ . Sous l'axe du pylône  $B_{\text{eff}}$  atteint  $6.3 \mu\text{T}$ .

# Ligne THT 380/220KV – ligne enterrée

## « Highlights » des études de J. Antille

### Document : 20190517-magnetique (suite 2)

- Au niveau du sol et dans l'axe des pylônes  $B_{\text{eff}}$  est toujours  $> 1 \mu\text{T}$ . Il y a un corridor de  $\pm 60$  m sous l'axe de la ligne avec  $B_{\text{eff}} > 1 \mu\text{T}$ .  $B_{\text{eff}}$  décroît rapidement avec la hauteur du pylône.
- Dans l'étude magnétique, il est précisé que pour minimiser l'induction magnétique, les phases doivent être placées le plus proche possible, soit en trèfle.
- **Un pylône est un objet magnétique dont il est difficile à minimiser l'induction magnétique.** La raison est liée à la distance entre les phases, qui est de 9 m en distance verticale. Par comparaison pour le micro tunnel optimisé, cette distance est de 25 cm.
- Entre deux pylônes de 58m de haut,  $B_{\text{eff}}$  atteint  $70 \mu\text{T}$  au niveau du sol. Pour le micro tunnel optimisé, au niveau du sol on a  $B_{\text{eff}} = 0.2 \mu\text{T}$ , soit un rapport de 350!

# Ligne THT 380/220KV – ligne enterrée

---

## « Highlights » des études de J. Antille

### Document : 20190517-magnetique (suite 3)

- L'induction magnétique produite par un micro tunnel au niveau du sol est de deux ordres de grandeur plus faible que celui produit par une ligne aérienne.
- La taille géométrique d'un micro tunnel par rapport à la hauteur d'un pylône est d'au moins 30 fois plus petit.
- Un micro tunnel comprend un tube d'acier qui assure sa rigidité et dont l'épaisseur permet de réduire l'induction magnétique produite par les câbles. Pour calculer proprement les effet magnétiques liés au blindage, il faut utiliser un modèle d'élément fini (FEM). L'efficacité du blindage dépend: des propriétés du matériel ferromagnétique - de son épaisseur - de l'endroit où il est placé.  
Il y a un grand degré de liberté concernant le choix du matériau ferromagnétique et ainsi d'optimiser le micro tunnel.

# Ligne THT 380/220KV – ligne enterrée

---

## « Highlights » des études de J. Antille

### Document : 20191226-thermique

- Dans un micro-tunnel, tous les types d'échange thermique apparaissent (conduction-convection et radiation). Avec des coefficients d'échange appropriés, l'étude s'est portée sur le refroidissement de 2 lignes 380KV et une de 220KV (similaire à la solution aérienne) pour un micro tunnel de 2 mètres de diamètre avec le manteau supérieur enfoui à 1 mètre du sol. Le manteau du micro tunnel est en acier ordinaire matériau ferromagnétique de 15mm d'épaisseur pour atténuer le flux d'induction magnétique.
- L'analyse s'est portée sur deux poses différentes des câbles, l'une en nappe et l'autre en trèfle, correspondant à une charge maximum du courant dans les câbles (ampacité) pour des conditions d'été et avec une convection forcée de 1m/s.
- Sur la base des résultats de l'analyse thermique, une optimisation magnétique a été réalisée pour l'identification des phases (R S T) et le calcul de B au niveau du sol .

# Ligne THT 380/220KV – ligne enterrée

---

## « Highlights » des études de J. Antille

### Document : 20191226-thermique (suite 1)

L'analyse thermique a permis de dégager les points suivants :

- La pose en nappe des câbles est plus favorable d'un point de vue thermique que celle en trèfle.
- La pose en trèfle des câbles est beaucoup plus favorable d'un point de vue magnétique que celle en nappe.
- La température maximum de l'âme des câbles n'atteint pas **90°C** (XPLE câble), à pleine charge conformément aux prescriptions du fabricant, ceci pour les deux configurations de pose des câbles, pour la saison critique d'été. La température maximum de l'âme des câbles disposés en trèfle est de 62°C.
- Les calculs réalisés par une méthode FEM dans les conditions ci-dessus montrent la faisabilité de l'enfouissement de câbles dans un micro tunnel blindé.
- Les solutions proposées respectent la valeur limite de 1  $\mu$ T au niveau du sol.



# Ligne THT 380/220KV – ligne enterrée

---

## « Highlights » des études de J. Antille

### Document : 20191226-thermique (suite 2)

- La solution d'un micro tunnel blindé correspond à une tranchée de 2mètres de large et 3 mètres de profond. Cette solution permettrait d'ajouter facilement des câbles de transmission ( fibre optique,...) à une configuration existante.
- Avec ce concept de micro tunnel blindé, on peut facilement rajouter un autre micro tunnel blindé à proximité et ainsi doubler la capacité.
- Une ligne aérienne ne respecte jamais une valeur de  $B_{\text{eff}} < 1\mu\text{T}$  sous la ligne !
- Au niveau du sol, l'induction magnétique due à un micro tunnel blindé est inférieure à celle générée par une ligne aérienne, son influence sur la santé est donc moindre. (Principe de précaution)

# Ligne THT 380/220KV – ligne enterrée

---

## « Highlights » des études de J. Antille

### Document : 20191201-pylône162

- Le pylône 162 est situé sous le téléphérique Chalais-Vercorin et sa hauteur est de 36.58 m seulement pour respecter la distance requise avec le téléphérique qui passe au-dessus.  $B_{\text{eff}}$  à l'aplomb du pylône 162 vaut 118  $\mu\text{T}$ . Il y a un large corridor sous l'axe de la ligne où  $B_{\text{eff}} > 100 \mu\text{T}$  et dépasse les normes ORNI.

# Ligne THT 380/220KV – ligne enterrée

---

## « Highlights » des études de J. Antille

### Document : 20200301-KAN-NAK-Report (Re-calculation de l'étude 2016 basée sur un micro tunnel)

- Une firme externe a été mandatée pour vérifier les calculs de Jacques Antille concernant l'étude 2016 sur un micro tunnel. Le rapport 2016 d'étude des synergies R3-ligne THT380/220KV est basé sur les calculs de la firme Schnyder AG. J.A. a démontré que ces calculs sont erronés. Cette firme affirme que l'induction magnétique au niveau du sol est inférieure à 1  $\mu$ T.
- L'étude réalisée par KAN-NAK donne des résultats quasi identiques à ceux obtenus par J.A.
- KAN-NAK confirme les résultats du Dr. Jacques Antille effectués avec le logiciel MATLAB à l'aide du logiciel FEMM, à savoir que le champ d'induction varie entre 9  $\mu$ T et 11  $\mu$ T au niveau du sol, soit dix fois plus que prévu.

# Ligne THT 380/220KV – ligne enterrée

---

## High light des études de J. Antille et points importants

**Document : 20200301-KAN-NAK-Report  
(Re-calculation de l'étude 2016 basée sur un micro tunnel)**

- Swissgrid ainsi que l'Etat du Valais ne se sont pas donnés les moyens de faire une étude sérieuse sur l'enfouissement de la ligne en 2016. Swissgrid a proposé un micro tunnel de 2 m de diamètre avec une couverture de 2 m de terre. La position des câbles est en nappe, donc pas du tout optimisée. Dans l'optimisation réalisée par J.A., le recouvrement de terre est de 1 m seulement et l'induction magnétique au niveau du sol est de 0.2  $\mu$ T!
- Ce document élaboré par l'Etat du Valais a été transmis à l'Office Fédéral de l'Energie, qui a confirmé en septembre 2017 la liaison aérienne. Cette décision a été prise sur un rapport erroné.

# Ligne THT 380/220KV – ligne enterrée

---

## « Highlights » des études de J. Antille

### Document : 20200330-estimation-coûts

- Swissgrid réalise un microtunnel pour traverser la plaine du Rhône à Martigny dans le cadre du raccordement de la ligne de Nant de Dranse. Ils réalisent un microtunnel à 20m de profondeur avec un tunnelier de 1,5km de long et de 3m de diamètre. Coût estimé 30 millions SFR.
- Prix du tunnelier : entre 15'000 et 16'000 Fr. le mètre
- Prix de la tranchée 2x 3 m<sup>2</sup> : 1000 Fr. le mètre
- Le coût estimé pour la liaison souterraine de 27 km vaut **148,5 millions SFR**, soit seulement le 50 % en plus de la liaison aérienne. C'est en contradiction avec les dire de Swissgrid, dû à l'usage du tunnelier qui est très dispendieux.

# Ligne THT 380/220KV – ligne enterrée

## « Highlights » des études de J. Antille

### Document : 20200418-estimation-pertes

- La ligne aérienne est composée de 3 câbles par phase, soit de section 550 mm<sup>2</sup> ou 1000 mm<sup>2</sup> par câble. Pour la ligne enfouie, on considère un câble par phase de section 2500 mm<sup>2</sup> en cuivre.

En supposant un courant de 1000 A moyen par phase (charge de 44.8%) et le prix de l'énergie électrique de 10 ct/Kwh, on obtient:

- La solution enfouie permet d'économiser **109.7 millions SFR** sur une période de 40 ans, pour la variante avec une section de 1650 mm<sup>2</sup> par phase.
- La solution enfouie permet d'économiser **33.4 millions SFR** sur une période de 40 ans, pour la variante avec une section de 3000 mm<sup>2</sup> par phase.
- Pour une charge de 50%, l'économie représente 42 Mio. CHF, sur la même période

# Ligne THT 380/220KV – ligne enterrée

---

## « Highlights » des études de J. Antille

### Document : 20200430-Réseau Stratégique

- Le pompage turbinage de Nant de Dranse n'est toujours pas en service, ni celui de Nant de Dranse « plus ».
- Chavalon 1 et 2 ne seront jamais en service.
- La situation prise en compte pour 2015 et 2020 est singulièrement fausse, cf. le Rapport Püttgen (2011).
- Les lignes 220KV depuis Chippis sont surchargées.
- Vers le nord: Chippis – Bickigen: au plus tôt cette ligne ne sera pas mise en service avant **2025**.

# Ligne THT 380/220KV – ligne enterrée

---

## « Highlights » des études de J. Antille

### Document : 20200430-Réseau Stratégique

- Vers l'est: Chippis Lavorgo: Swissgrid espère la mise en service d'ici **2025** en relevant qu'elle sera retardée de plusieurs années si des oppositions sont déposées ce qui est le cas.
- On ne voit pas comment on pourrait évacuer l'énergie...s'il n'y a pas de continuation de la ligne ni au nord ni à l'est.



# Ligne THT 380/220KV – ligne enterrée

## « Highlights » des études de J. Antille

Document : 20211231-HVDC-525KV

- Cette analyse est le résultat d'une collaboration avec **Nexans**.
- L'analyse des câbles HVDC Symmetrical monopole posés en pleine terre a permis de déterminer la distribution de température dans les câbles et d'estimer l'ampacité en fonction de la distance entre les conducteurs.
- Pour des câbles HVDC (3000 mm<sup>2</sup>), distants de 1 m la puissance transmise est supérieure à 2GW, tout en respectant la température maximum de l'âme (70°C)
- La résistance électrique d'un câble HVDC de même section qu'une phase AC est deux fois plus petite. Cela se traduit qu'à pleine charge, l'économie représente 140 Mio. CHF pour un tronçon de 27km sur une période de 40 ans en supposant 10 ct/Kwh.

# Ligne THT 380/220KV – ligne enterrée

---

## « Highlights » des études de J. Antille

### Document : 20211231-HVDC-525KV (suite 1)

- Autrement dit, cette économie représente l'équivalent de la consommation électrique annuelle de 300'000 foyers !
- Pour les connections souterraines, le seuil de rentabilité du HVDC serait de 54 km.
- Les calculs réalisés par une méthode FEM dans les conditions ci-dessus montrent la faisabilité d'une liaison HVDC.
- Ce type de liaison HVDC permettrait de définir un couloir d'énergie à proximité de l'autoroute pour contribuer à la transition énergétique optimale.
- Le paysage de la production d'énergie a changé:
  - les cellules photovoltaïques produisent directement du courant continu (DC)
  - les éoliennes passent par une étape en DC

...

# Ligne THT 380/220KV – ligne enterrée

---

## « Highlights » des études de J. Antille

Document : 20211231-HVDC-525KV (suite 2)

- Les technologies d'électronique de puissance rendent aujourd'hui possible le transport efficace de l'électricité sous forme de courant continu à haute tension (HVDC).