



Comparaison des pertes

THT 380/220KV aérienne - enfouie

Avril, 2020

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

Comparaison des pertes: THT 380/220KV aérienne - enfouie

Contenu

1. Courant par phase
2. Propriétés des câbles : section 550 mm^2 et 1000 mm^2
3. Model thermique du câble dans l'air
4. Distribution de courant dans le câble
5. Calcul des résistances
6. Estimation des pertes électriques
7. Conclusions

Comparaison des pertes: THT 380/220KV aérienne - enfouie

1. Courant par phase

$$\text{ligne 380KV: 3 câbles/phase} \rightarrow I_{\text{câble}} = \frac{I_{380KV}}{3}$$

$$\text{Ligne 220KV, 3 câbles/phase} \rightarrow I_{\text{câble}} = \frac{I_{220KV}}{3}$$

$$I_{380KV} = 2230 \frac{A}{\text{phase}}$$

$$I_{220KV} = 2240 \frac{A}{\text{phase}}$$

$$I_R = I_{380-220KV} \cdot \sin(\omega t)$$

$$I_S = I_{380-220KV} \cdot \sin(\omega t - 2\pi/3)$$

$$I_T = I_{380-220KV} \cdot \sin(\omega t - 4\pi/3)$$

$$\omega = 2\pi\nu$$

$$\text{Avec } \nu = 50 \text{ Hz}$$

Comparaison des pertes: THT 380/220KV aérienne - enfouie

2. Propriétés des câbles

Swissgrid a choisi la technologie délivrée par un fabricant italien, De Angeli Prodotti

De : Francesco Zemignan [Zemignan@deangeliprodotti.com] Date : lun. 06.04.2020 11:52
À : jacques et josiane antille
Cc :
Objet : R: [Website feedback] High voltage cable for the Chamoson Chippis overhead line

Dear Mr. Antille,

I'm regret to inform you that Swissgrid doesn't authorized me to send you the requested information.
I'm sorry.
Best regards.

Francesco Zemignan

Sales Manager


De Angeli Prodotti S.r.l.

V.le dell' Industria n° 1 35023

Bagnoli di Sopra (PADOVA) ITALY

☎ +39 049. 9599223 | 📠 +39 049. 9599274 | 📱 mob: +39 329 2307600

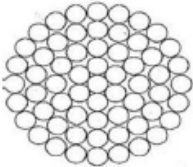
Web site: www.deangeliprodotti.com

 Per la tutela dell'ambiente, prima di stampare questa e-mail pensa bene se è veramente necessario.

En conséquence, j'ai pris contact avec un grand fabricant européen de câbles. Ci-joint les données techniques.

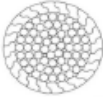
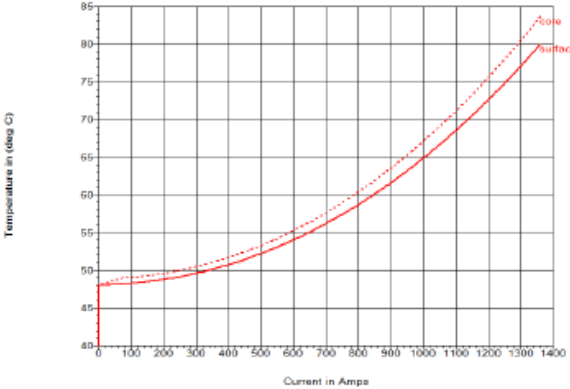
Comparaison des pertes: THT 380/220KV aérienne - enfouie

2. Propriétés du câble : 550 mm² de section

TECHNICAL DATA SHEET AAAC CONDUCTORS		
		
Old Code Designation as per EN 50182		AAAC 550 403-AL3
<u>GOVERNING STANDARDS</u>		
Overall conductor Aluminum alloy wires (AL3)		EN 50182 EN 50183
<u>CONDUCTOR DESIGN</u>		
Stranding and wire diameter for aluminum alloy wires	N ^o /mm	61(1+6+12+18+24)/3,39
Cross-sectional area for aluminum alloy	mm ²	550,6
Overall diameter	mm	30,5
Mass for aluminum alloy layers	kg/km	1521,6
Mass for grease	kg/km	NOT GREASED
Total mass per unit length	kg/km	1521,6
Direction of lay outer layer		RIGHT (Z)
<u>MECHANICAL PROPERTIES</u>		
Rated Breaking Strength	kN	162,42
<u>ELECTRICAL PROPERTIES</u>		
Maximum DC Electrical Resistance at 20 °C	Ω/km	0,0605
<u>Packing</u>		
Type		Wood drum

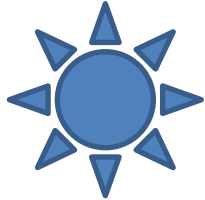
Comparaison des pertes: THT 380/220KV aérienne - enfouie

2. Propriétés du câble : 1000 mm² de section

TECHNICAL DATA SHEET - AERO Z (AAAC-Z) CONDUCTORS		
 <p style="text-align: center;">Not to scale</p>		
Code according to Nexans		AAAC-Z 1000 - 1Z (AL3F) - SANDBLASTED
Designation as per EN 62219		1000 - AL3F- 40
GOVERNING STANDARDS		
Overall conductor		EN 62219
Aluminum Alloy wires (AL3)		EN 50183
CONDUCTOR DESIGN		
Stranding and wire diameter for round wires	N ^o /mm	61(1+6+12+18+24)3,65
Stranding and wire height for Z-shaped wires	N ^o /mm height	30 ZWH 3.55
Cross-sectional area for round wires	mm ²	638,3
Cross-sectional area for Z shaped wires	mm ²	353,4
Total cross-sectional area	mm ²	991,7
Overall diameter	mm	40,0
Mass for roundwires	kg/km	1761
Mass for Z-shaped wires	kg/km	1008
Mass for grease	kg/km	0
Total mass per unit length	kg/km	2769
Direction of lay outer layer		RIGHT HAND (Z)
Surface		SANDBLASTED TO MINIMIZE AUDIBLE NOISE
MECHANICAL PROPERTIES		
Rated Breaking Strength	kN	292,5
Coefficient of Linear expansion	x 10 ⁻⁶ /°C	23,0
Final modulus of elasticity	GPa	54,0
ELECTRICAL PROPERTIES		
Maximum DC Electrical Resistance at 20 °C ⁽¹⁾	Ω/km	0,0323
AC Electrical Resistance at 25 °C	Ω/km	0,0332
AC Electrical Resistance at 75 °C	Ω/km	0,0391
Current Carrying Capacity at 80 °C ⁽²⁾	A	1361
		
THERMAL PROPERTIES		
Maximum continuous operating temperature	°C	90
Thermal Heat Capacity	W.s/m.°C	2639
<p>(1) value calculated considering a minimum electrical conductivity of 55,25 % IACS (guaranteed by Nexans)</p> <p>(2) Ampacity calculations based on GIGRE TB 207 according to the following data: 40 °C ambient temperature, 0,6 m/s cross-wind velocity, 900 W/m² solar radiation, 0,5 solar absorption coefficient and 0,6 emissivity</p>		
		Ref. AAAC-Z 1000 - 1Z (AL3F) - SANDBLASTED v0 04/10/2018

Comparaison des pertes: THT 380/220KV aérienne - enfouie

3. Model thermique du câble dans l'air



Radiation solaire : 900 W /m^2

Position au zénith

Vitesse du vent : 0.6 m/s

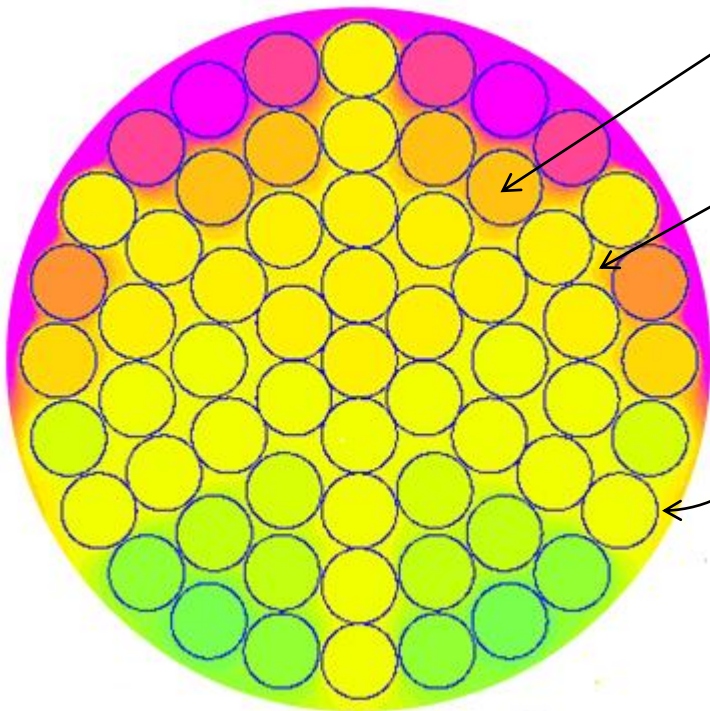
Parallèle à l'axe de la ligne

Aldrey, diamètre 3.39 mm , 61 brins

air

Air ($T=40^\circ\text{C}$)

Convection définie par $h \text{ [W/(m}^2\cdot\text{K)]}$

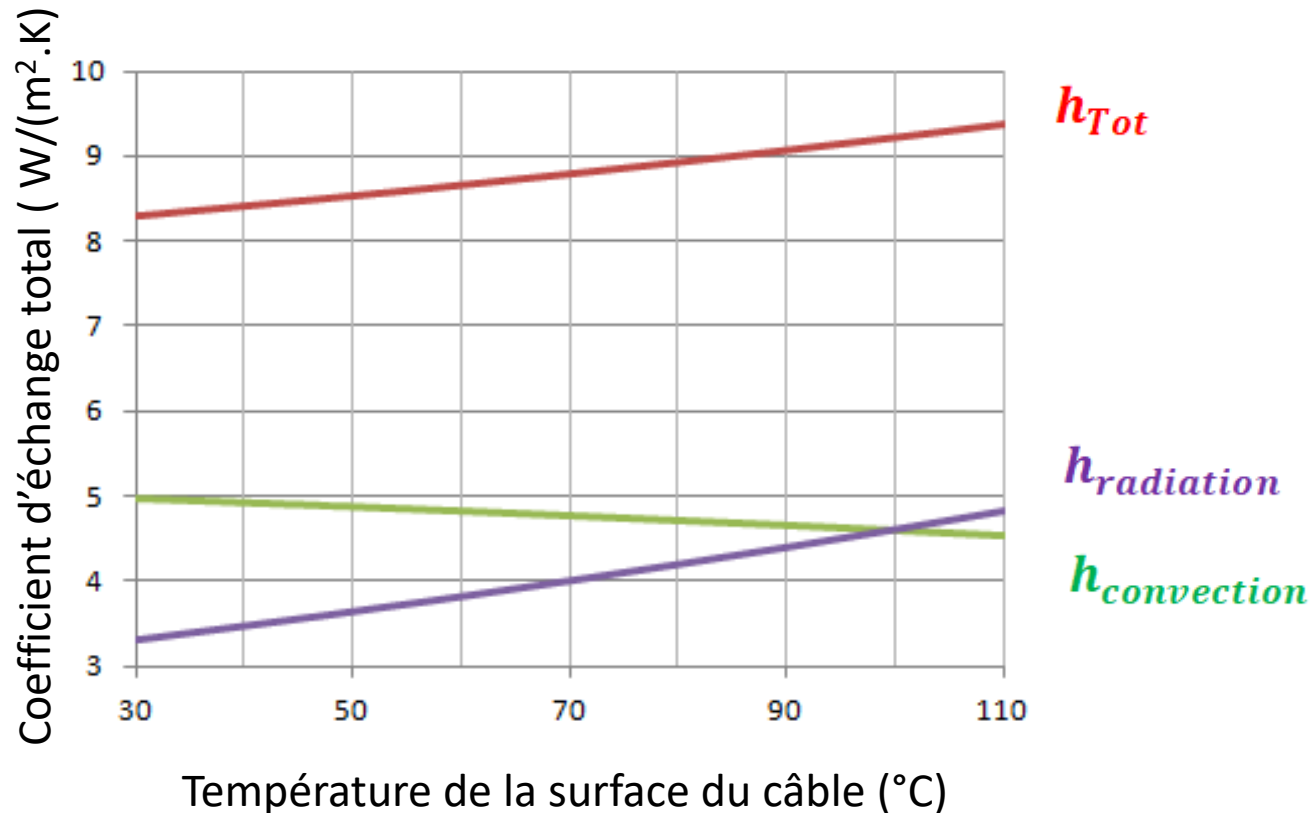


Comparaison des pertes: THT 380/220KV aérienne - enfouie

3. Model thermique du câble dans l'air

Coefficient d'échange entre la surface du câble et l'air

$$h_{Tot} = h_{convection} + h_{radiation}$$

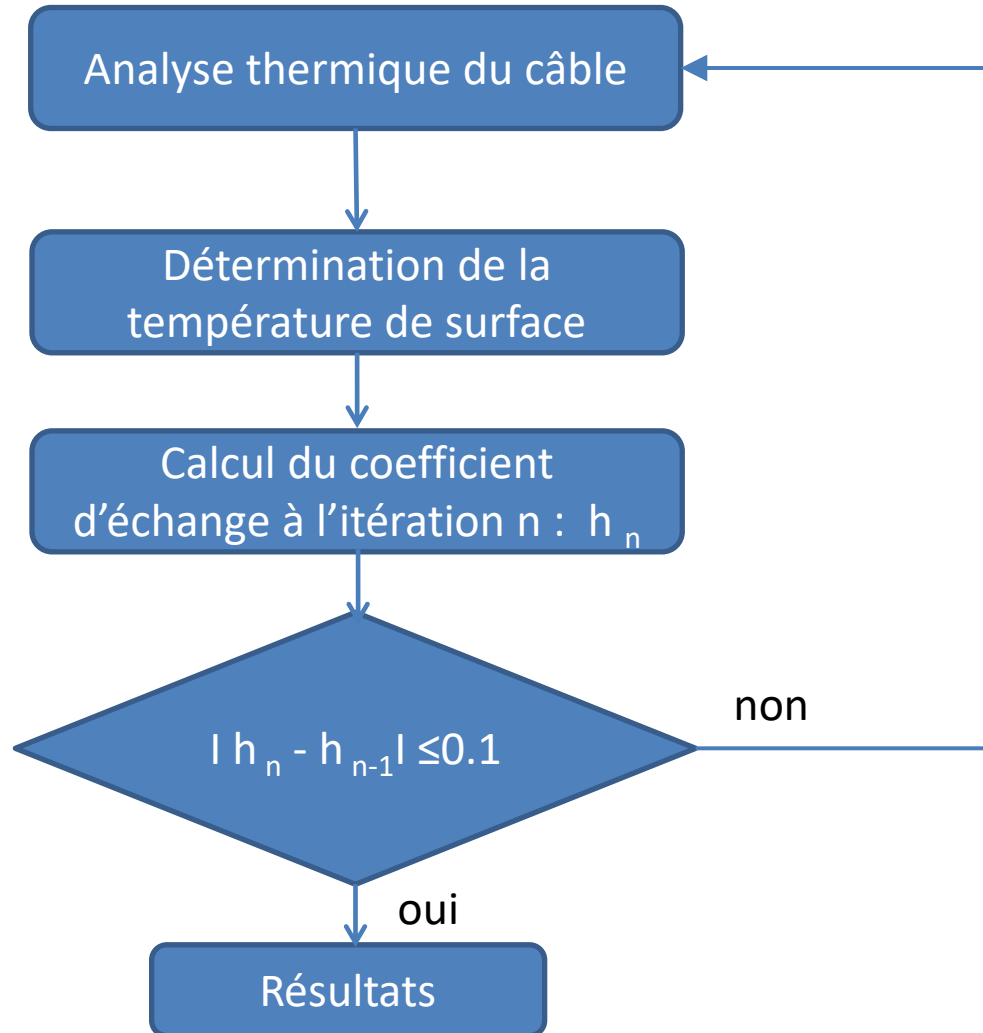


Remarque : le coefficient d'échange convectif tient compte des caractéristiques du câble et des nombres de Nusselt, Reynolds, Grahsf et Prandtl.

Comparaison des pertes: THT 380/220KV aérienne - enfouie

3. Model thermique du câble dans l'air

Méthodologie de calcul

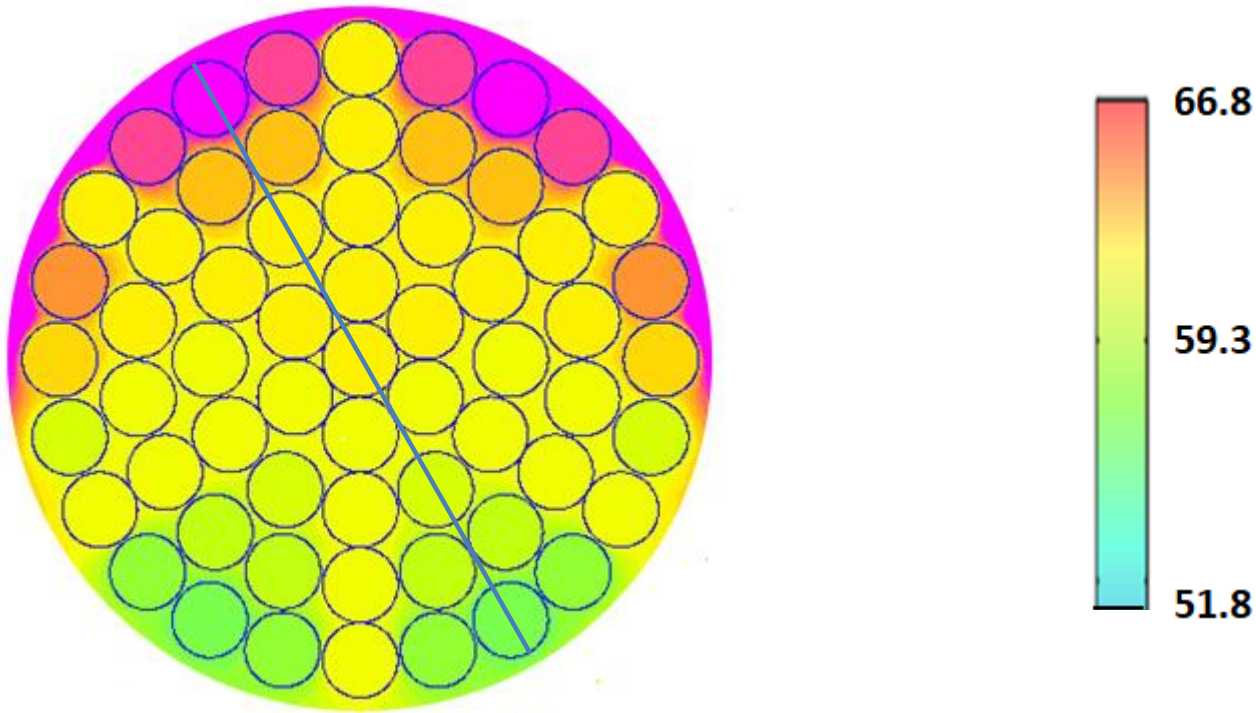


Comparaison des pertes: THT 380/220KV aérienne - enfouie

3. Model thermique du câble dans l'air

Câble : Aldrey 550mm²

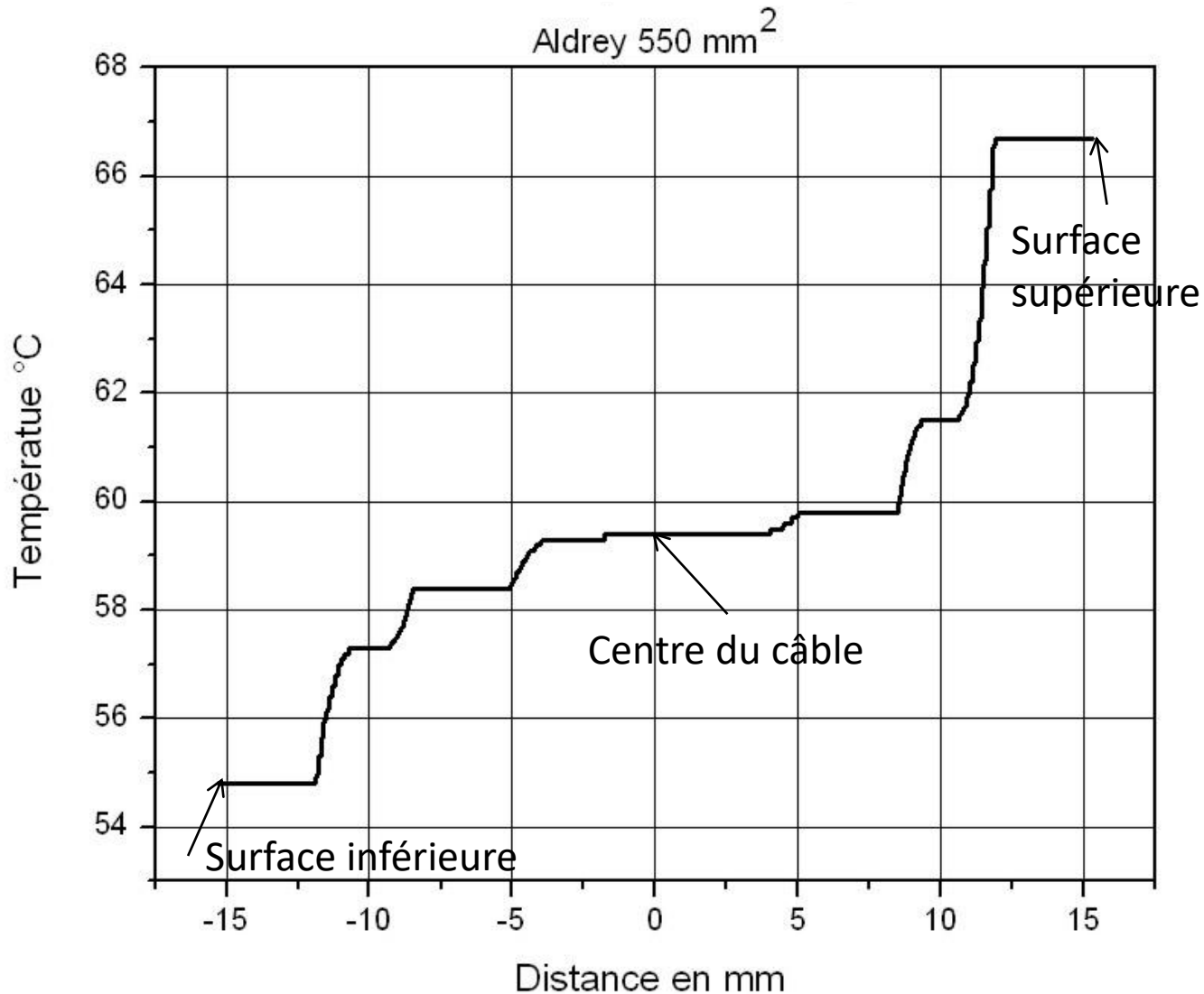
Distribution de température



Comparaison des pertes: THT 380/220KV aérienne - enfouie

3. Model thermique du câble dans l'air

Distribution de la température le long de la droite inclinée

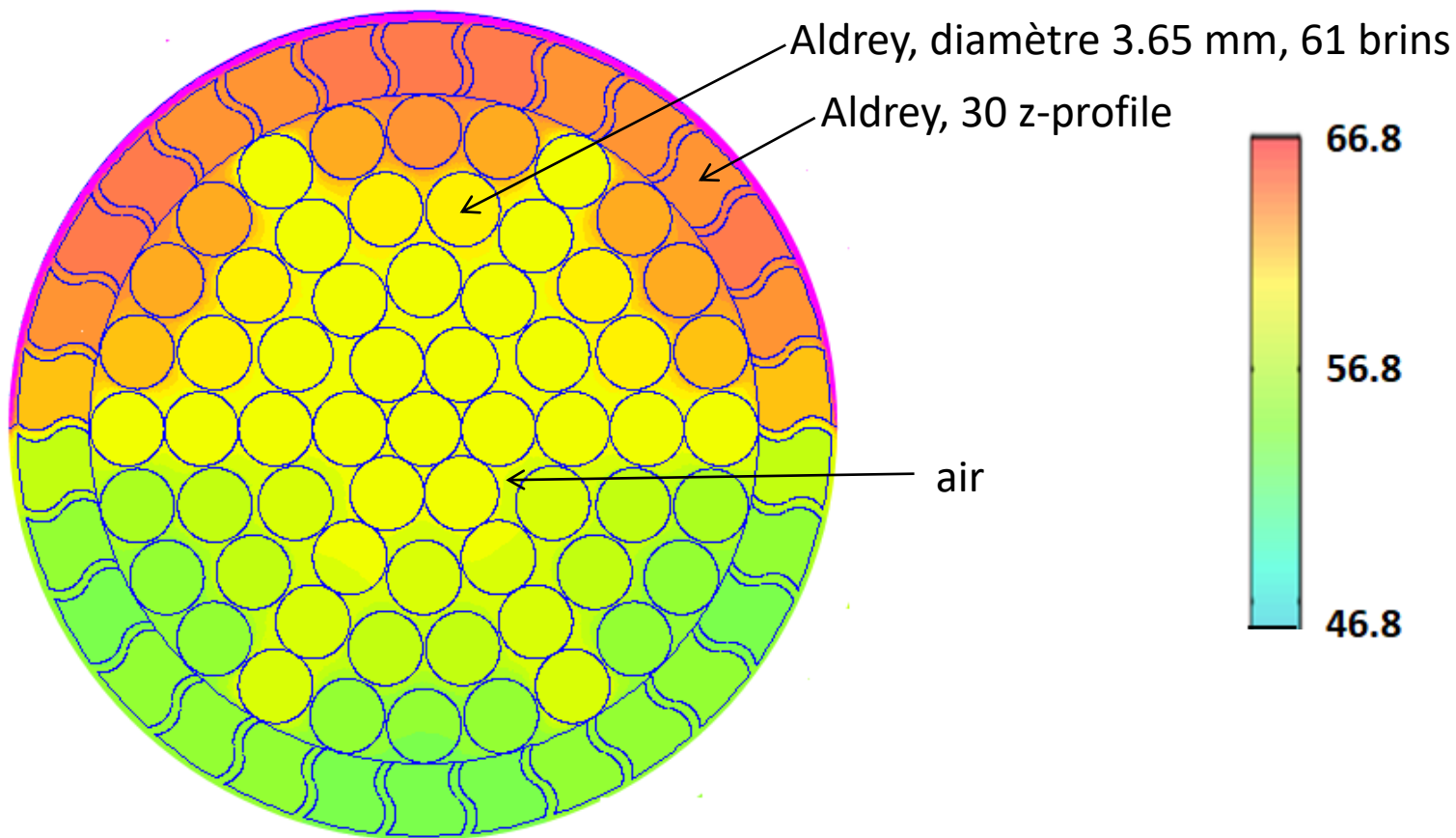


Comparaison des pertes: THT 380/220KV aérienne - enfouie

3. Model thermique du câble dans l'air

Câble : Aldrey 1000 mm²

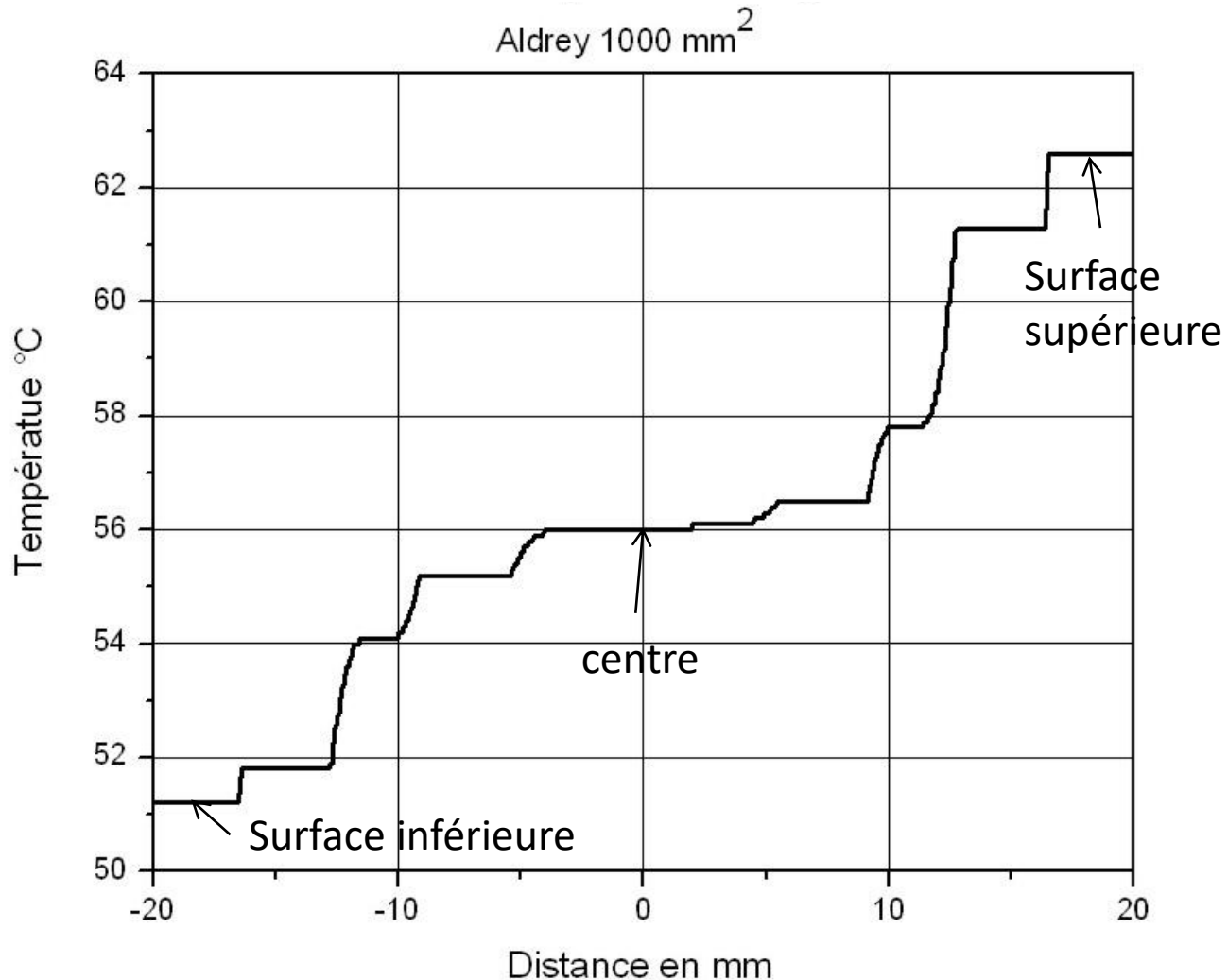
Distribution de température



Comparaison des pertes: THT 380/220KV aérienne - enfouie

3. Model thermique du câble dans l'air

Distribution de la température le long de la droite verticale



Comparaison des pertes: THT 380/220KV aérienne - enfouie

3. Model thermique du câble dans l'air

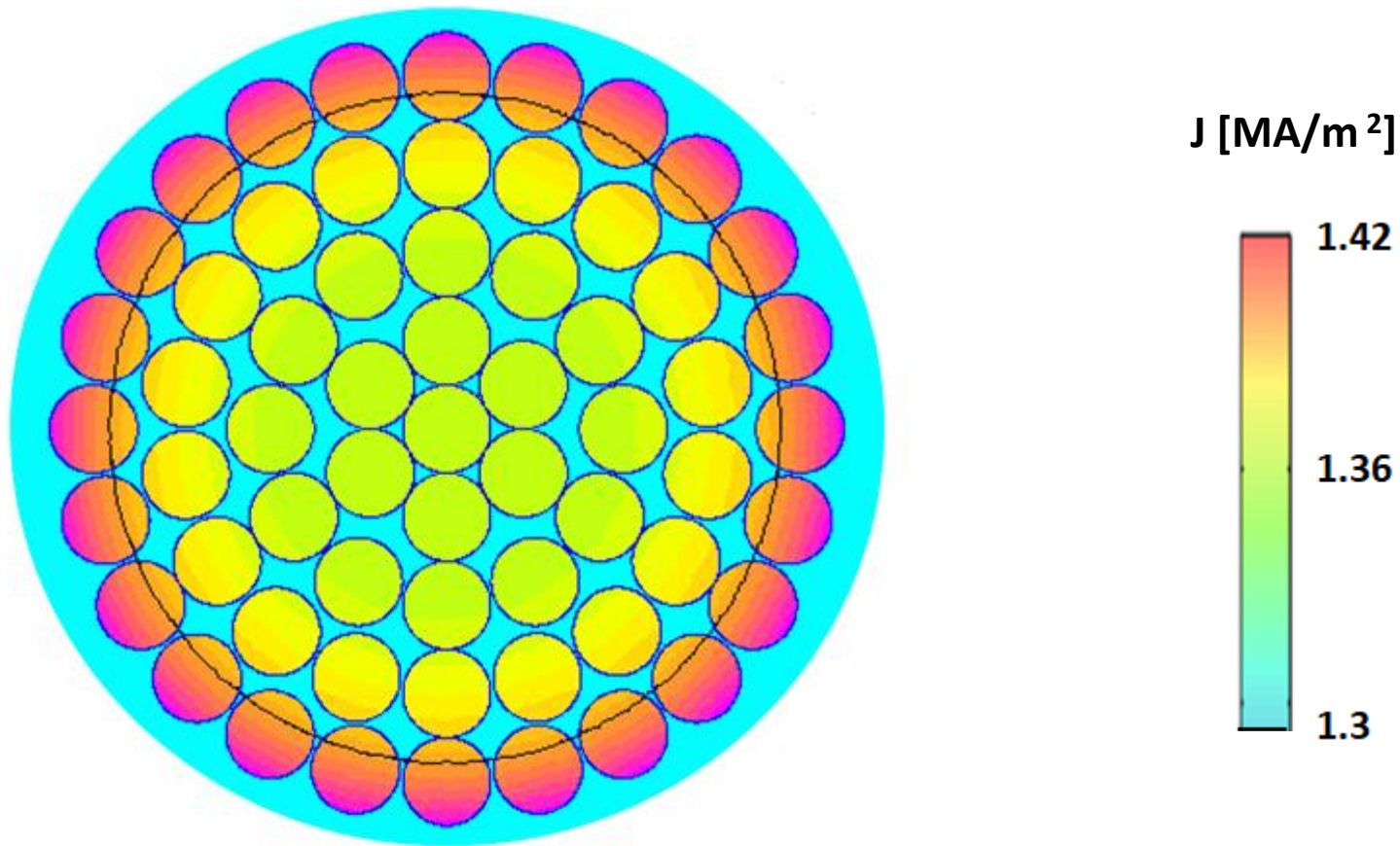
Température du câble aérien au courant maximum

Section	T_{moyenne} d'un câble (°C)	T_{max} d'un câble (°C)
550 mm ²	59	67
1000 mm ²	56.3	62.3

Comparaison des pertes: THT 380/220KV aérienne - enfouie

4. Distribution de courant dans le câble

Câble : Aldrey 550mm²



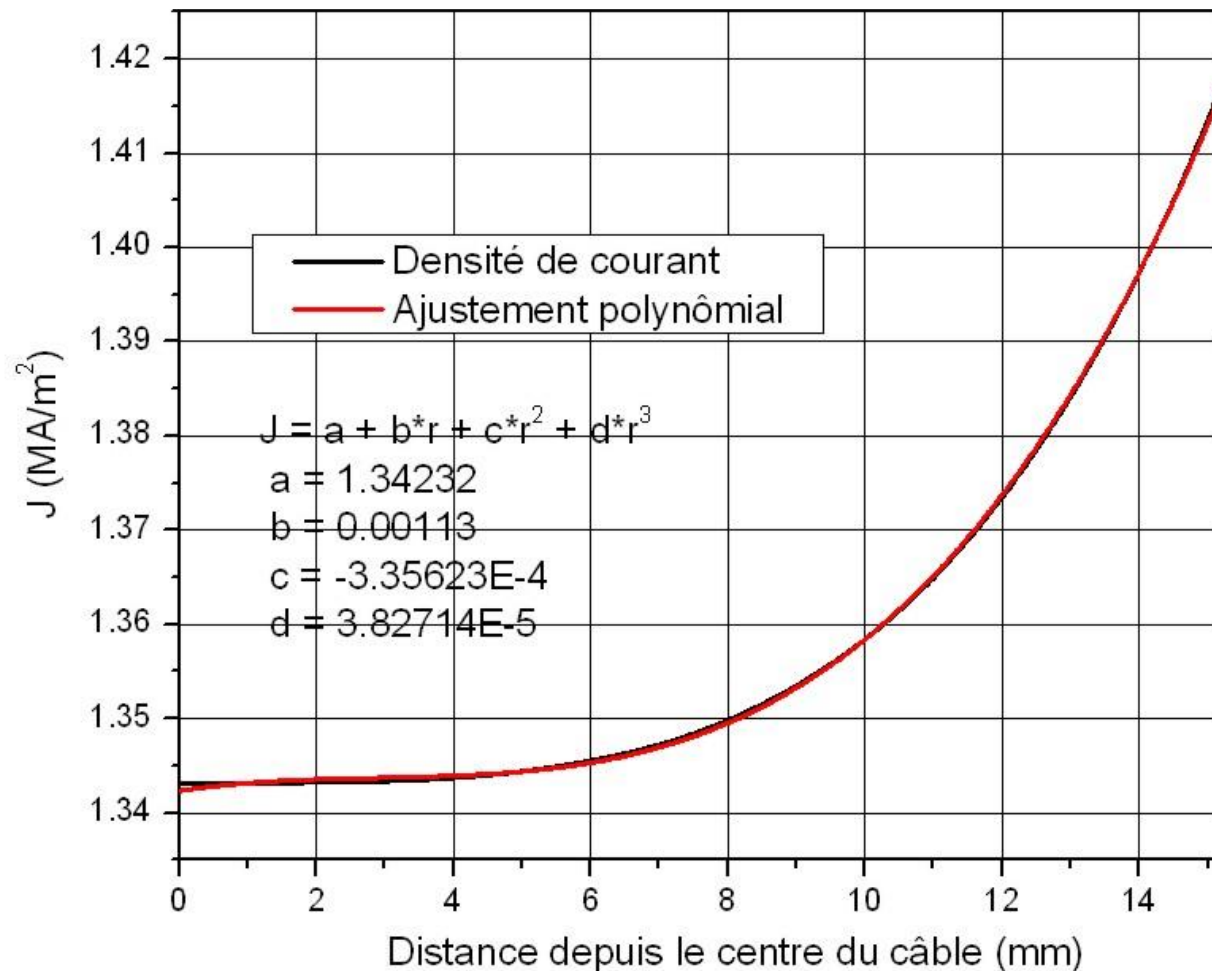
Comparaison des pertes: THT 380/220KV aérienne - enfouie

4. Distribution de courant dans le câble

Distribution de courant dans un câble aérien ligne 380KV ou 220KV

Densité de courant dans un câble et ajustement

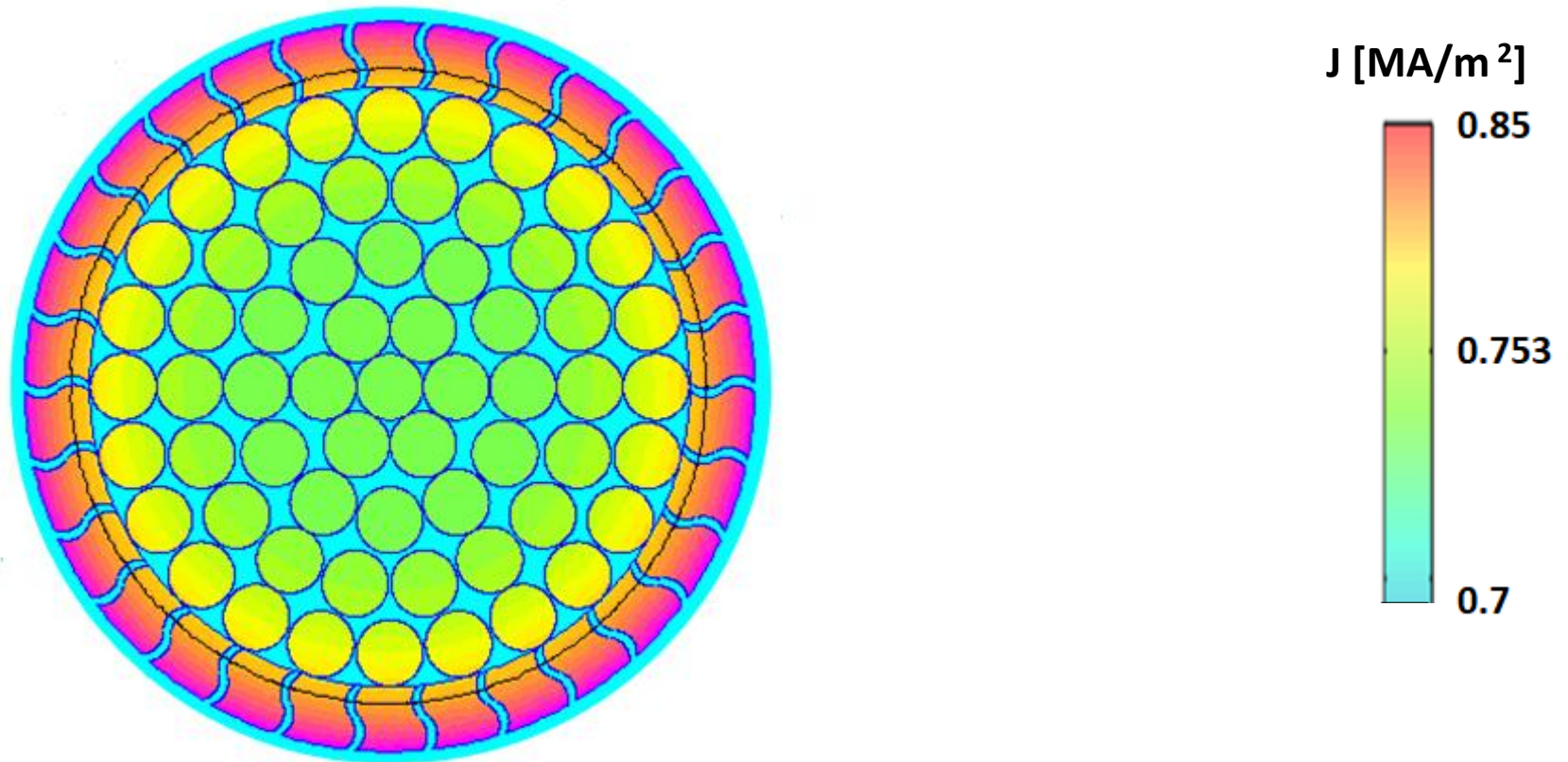
Câble: 550 mm²



Comparaison des pertes: THT 380/220KV aérienne - enfouie

4. Distribution de courant dans le câble

Câble : Aldrey 1000 mm²



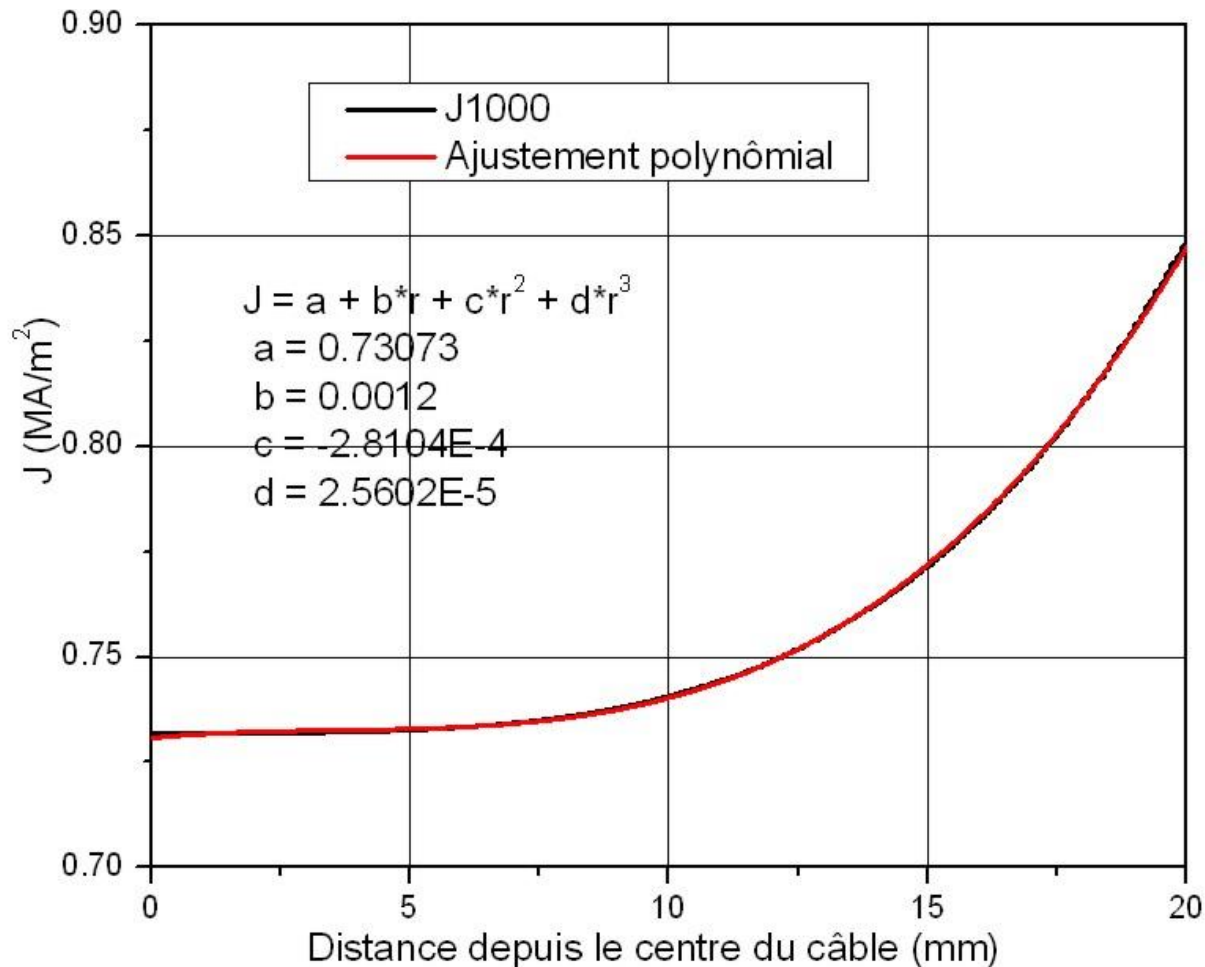
Comparaison des pertes: THT 380/220KV aérienne - enfouie

4. Distribution de courant dans le câble

Distribution de courant dans un câble aérien ligne 380KV ou 220KV

Densité de courant dans un câble et ajustement

Câble : 1000 mm²

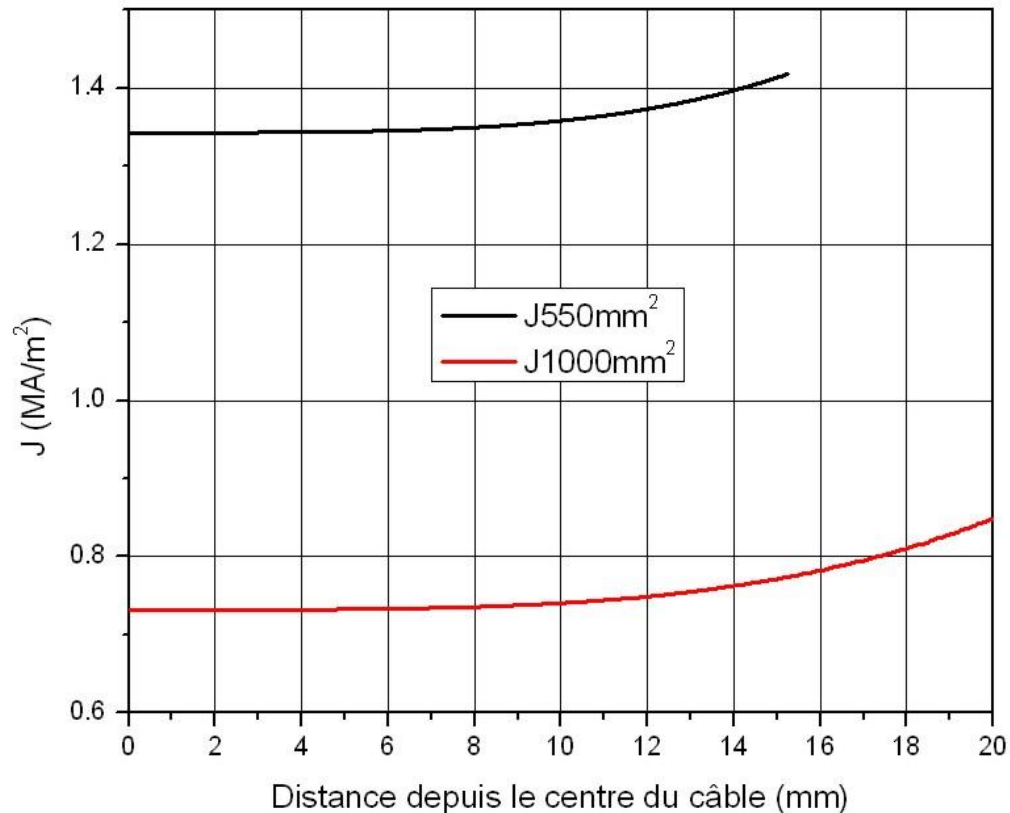


Comparaison des pertes: THT 380/220KV aérienne - enfouie

4. Distribution de courant dans le câble

Distribution de courant dans un câble aérien ligne 380KV ou 220KV

Comparaison de la densité de courant par câble pour la ligne 380KV ou 220KV aérienne
câble : 550 mm² et 1000 mm²



Comparaison des pertes: THT 380/220KV aérienne - enfouie

5. Calcul des résistances pour 1 phase à partir des densités de courant

Aérien		1 phase 380KV/ 220KV section 550 mm ²	
Résistance	Unité	1 câble	3 câbles
R _{DC} (20°C)	Ω / km	0.0605	
R _{DC} (67°C)	Ω / km	0.0691	
R _{AC} (67°C)	Ω / km	0.0698	0.0233
Aérien		1 phase 380KV/ 220KV section 1000 mm ²	
Résistance	Unité	1 câble	3 câbles
R _{DC} (20°C)	Ω / km	0.0323	
R _{DC} (62.3°C)	Ω / km	0.0378	
R _{AC} (62.3°C)	Ω / km	0.0391	0.0130
Souterrain		1 phase 380KV/ 220KV Câble XLPE 2500mm ²	
Résistance *	Unité	1 câble	
R _{DC} (20°C)	Ω / km	0.0072	
R _{AC} (62°C)	Ω / km	0.01042	

* Cf étude thermique 20191105-thermique.pdf

6. Hypothèses pour le calcul des pertes

- On suppose un courant de 1000 A moyen par phase
- Prix de l'énergie électrique 10 ct/Kwh

Comparaison des pertes: THT 380/220KV aérienne - enfouie

6. Estimation des pertes électriques

		Perte au km P kw/km	Perte pour 27 km P' kw/27km	Perte annuelle pour 27 km Q Mwh/27km.année	Perte pdt 40 ans pour 27 km Q' Mwh/27km.40 ans	Coût des pertes pdt 40 ans pour 27 km K Mio. CHF
Enfouie						
1 câble par phase de section 2500 mm2						
Total section par phase	2500 mm2					
perte pour 1 Ligne 380KV		31,3 *	844,0	7 393,6	295 744,6	29,6
Total des pertes (2 lignes 380KV + 1 ligne 220KV)		93,8	2 532,1	22 180,8	887 233,8	88,7
Ligne aérienne						
Variante 1						
3 câbles par phase de section 550 mm2						
Total section par phase	1650 mm2					
perte pour 1 Ligne 380KV / 220KV		69,9	1 887,3	16 532,7	661 309,9	66,1
Total des pertes (2 lignes 380KV + 1 ligne 220KV)		209,7	5 661,9	49 598,2	1 983 929,8	198,4
Ligne aérienne						
variante 2						
3 câbles par phase de section 1000 mm2						
Total section par phase	3000 mm2					
perte pour 1 Ligne 380KV/220KV		39,1	1 055,7	9 247,7	369 907,8	37,0
Total des pertes (2 lignes 380KV + 1 ligne 220KV)		117,3	3 167,0	27 743,1	1 109 723,5	111,0
Différence des Pertes						
variante 1 - enfouie		115,9	3 129,8	27 417,4	1 096 695,9	109,7
variante 2 - enfouie		23,5	635,0	5 562,2	222 489,6	22,2

* selon Rapport 2011 Hans B. Püttgen page 78: P =91,2 Kw/Km

Comparaison des pertes: THT 380/220KV aérienne - enfouie

7. Conclusions

- On considère que la ligne aérienne est composée de 3 câbles par phase, soit de section 550 mm^2 ou 1000 mm^2 par câble.
- Pour la ligne enfouie, on considère un câble par phase de section 2500 mm^2 .
- L'analyse thermique des câbles aériens a permis d'estimer leur température correspondant à des conditions estivales. A pleine charge la température atteint 67° , 62.3°C respectivement pour des câbles de 550 mm^2 et 1000 mm^2 de section. Pour comparaison, l'analyse thermique associée à un micro tunnel atteint 62°C .
- Le calcul de la résistance électrique en mode AC (alternatif) a été réalisée en tenant compte des résultats de l'analyse thermique et de la distribution de courant obtenue en résolvant les équations de Maxwell par une méthode FEM. Les effets de peau et de proximité ont été pris en compte.
- Rappelons que l'âme d'un câble souterrain est en cuivre. Le rapport des conductivités entre le cuivre et l'aluminium vaut 1.64, par conséquent les pertes ohmiques sont dans le même rapport.

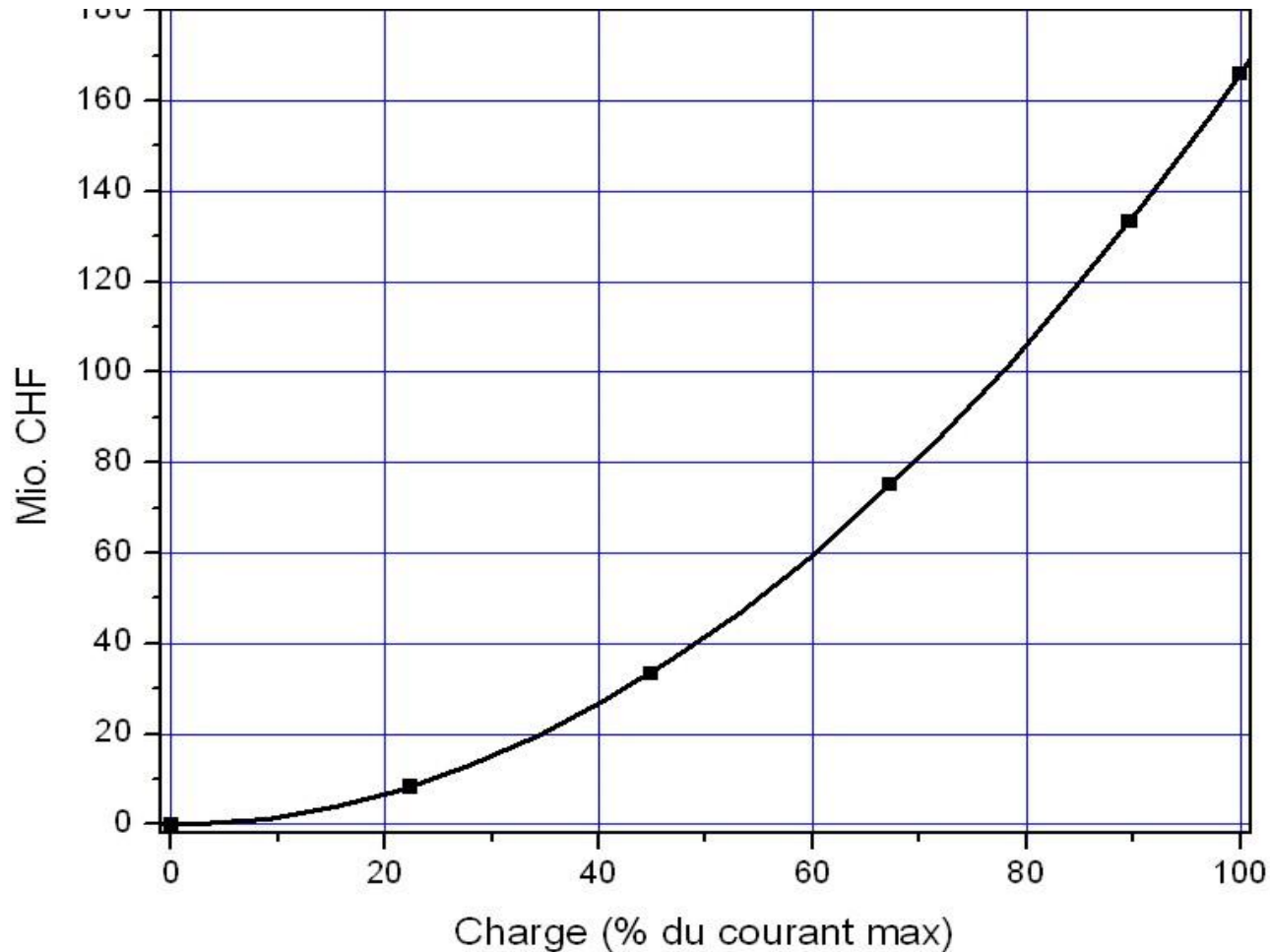
Comparaison des pertes: THT 380/220KV aérienne - enfouie

7. Conclusions

- Les pertes estimées pour un câble souterrain dans le rapport Hans B. Püttgen (2011) sont trois fois plus élevées que celles dans la présente étude. La section du câble n'est pas spécifiée dans cette étude. Il faut tenir compte également des progrès technologiques réalisés depuis 10 ans.
- Sur la base des calculs de résistances, les pertes ohmiques ont été estimées pour une période de 40 ans, en supposant une charge de 1000 A/phase (44.8%)
- La solution enfouie permet d'économiser **109.7 millions SFR** sur une période de 40 ans, pour la variante avec une section de 1650 mm² par phase.
- La solution enfouie permet d'économiser **22.2 millions SFR** sur une période de 40 ans, pour la variante avec une section de 3000 mm² par phase.
- En prenant en compte la fiche technique du conducteur retenu (De Angeli Prodotti AAAC039,93mm), la résistance DC (20°C) vaut 0,0355 Ω/km, soit 10% plus élevée. La solution enfouie permet d'économiser **33.4 millions SFR** sur une période de 40 ans, pour la variante avec une section de 3000 mm² par phase.

Comparaison des pertes: THT 380/220KV aérienne - enfouie

Economie des pertes pour la solution enfouie sur une période de 40 ans
Prix de l'énergie électrique 10 ct/Kwh



Pour une charge de 50%, l'économie représente 42 Mio. CHF