



Rapport du 30 juillet 2020

---

# Calcul du facteur de surcoût selon OLEI

## Directive

---



Correspondant OFEN: [denis.peytregnet@bfe.admin.ch](mailto:denis.peytregnet@bfe.admin.ch)

Office fédéral de l'énergie OFEN

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen; Adresse postale: CH-3003 Berne

Tél. +41 58 462 56 11 · fax +41 58 463 25 00 · [contact@bfe.admin.ch](mailto:contact@bfe.admin.ch) · [www.ofen.admin.ch](http://www.ofen.admin.ch)



## Sommaire

Sommaire .....	3
Liste des Abréviations .....	4
Versions publiées .....	4
1 Introduction.....	5
1.1 Objectif de l’outil Excel « MKFactory » et de la directive .....	5
1.2 Gestion des câblages partiels.....	5
2 Remarques générales concernant l’outil Excel « MKFactory » .....	6
2.1 Principe .....	6
2.2 Structure du fichier Excel .....	6
3 Onglet « Explications » .....	7
4 Onglet « Données du projet » .....	7
4.1 Données générales.....	8
4.2 Coûts par position .....	10
4.3 Commentaires.....	13
5 Onglet « Résultats ».....	14
6 Liens utiles .....	14

## Liste des Abréviations

GRD	Gestionnaire du réseau de distribution
MKF	Facteur de surcoût (MehrKostenFaktor)
OLEI	Ordonnance sur les lignes électriques, RS734.31
PAP	Procédure d'approbation des plans
VAN	Valeur actualisée nette
WACC	Coût moyen pondéré du capital ou Weighted Average Cost of Capital

## Versions publiées

V3.2	26 mars 2020	1ère version publiée
V4.3	30 juillet 2020	Données supplémentaires pour Monitoring OFEN ajoutées Calcul des projets de ligne mixte intégré dans le fichier Excel

# 1 Introduction

## 1.1 Objectif de l'outil Excel « MKFactory » et de la directive

L'article 15c de la loi sur les installations électriques (RS 734.0; LIE) et les dispositions qui en découlent dans l'ordonnance sur les lignes électriques (RS 734.31; OLEI) déterminent dans quelles conditions une ligne (50 Hz) du réseau de distribution d'une tension nominale inférieure à 220 kV doit être réalisée sous forme de ligne souterraine. Ces dispositions sont entrées en vigueur le 1<sup>er</sup> juin 2020 et ne sont pas applicables aux demandes d'approbation des plans déposées avant cette date auprès de l'autorité chargée de l'approbation.

L'article 11c OLEI règle les bases du calcul du facteur de surcoût (MKF) d'un projet concret. Le présent document et l'outil de calcul du MKF «MKFactory» décrivent la façon dont ce dernier doit être calculé en cas de besoin.

## 1.2 Gestion des câblages partiels

Pour calculer le MKF, il convient de comparer les coûts totaux nécessaires à la réalisation du projet sous forme de ligne souterraine (variante câblée) ou de ligne aérienne (variante aérienne) (cf. art. 11c OLEI). Dans les cas où la ligne est partiellement câblée, la comparaison des coûts avec ceux de la ligne aérienne doit cependant être effectuée sur l'ensemble de la ligne et non pas uniquement sur le tronçon câblé (cf. exemples figurant à l'annexe 1).

## 2 Remarques générales concernant l'outil Excel « MKFactory »

### 2.1 Principe

Les coûts totaux des 2 variantes (lignes aérienne et souterraine ou mixte) sont obtenus en sommant les coûts des positions a) ... i) tels que listés dans l'art.11c, Al.2, OLEI.

Les coûts incombant durant la période de réalisation du projet jusqu'à sa mise en service ne sont pas actualisés. On considère, par mesure de simplification, qu'ils incombent au temps t=0. Les intérêts intercalaires ne sont pas pris en considération.

Les coûts incombant durant la période d'exploitation de la ligne (concessions annuelles, maintenance, perte d'énergie...) sont pondérés en utilisant la méthode la valeur actualisée nette. Le taux utilisé est le WACC moins le taux de renchérissement des prix en vigueur au moment du calcul (Art. 11c, Al. 4, OLEI).

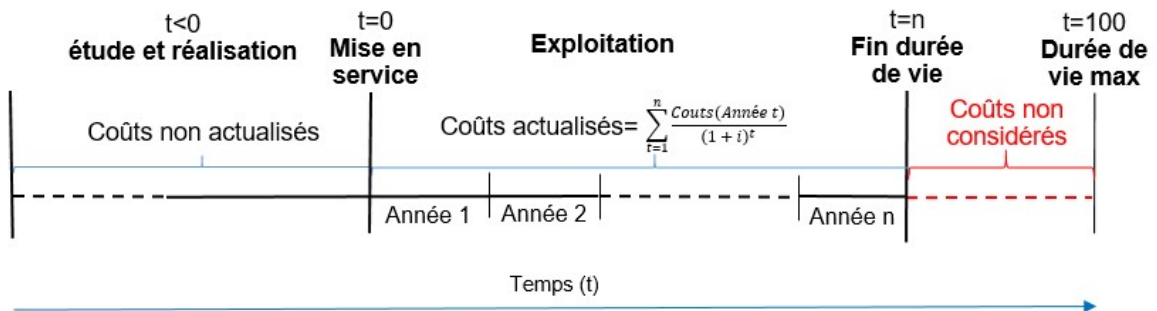


Fig.1 Principe d'actualisation des coûts

### 2.2 Structure du fichier Excel

Le premier onglet donne les explications générales pour remplir le fichier et effectuer le calcul.

Dans le deuxième onglet, on entre les données générales du projet ainsi que les valeurs nécessaires pour calculer chacune des positions a) ..i).

La 1<sup>ère</sup> variante est une ligne aérienne. Pour la 2<sup>ème</sup> variante, il faut choisir dans la cellule B5 de l'onglet "Données du projet", si la solution proposée est entièrement câblée ou mixte (avec portion câblée et portion aérienne). Si l'on choisit l'option "ligne souterraine", les données entrées dans la colonne D, (portion aérienne) ne sont pas prises en considération.

Les coûts par position, la somme des coûts pour les deux variantes (ligne aérienne et ligne souterraine ou mixte) ainsi que le calcul du MKF sont effectués dans le troisième onglet « Résultats ».

On obtient ainsi une structure et une représentation des coûts conforme à l'art, 11c Al.2 OLEI, ce qui permettra également une comparaison et un monitoring des différents projets de ligne électrique calculés sur la même base.

Un graphique en colonne permet de visualiser les coûts totaux de la variante mixte ou souterraine par rapport à la variante aérienne.

### 3 Onglet « Explications »

Cet onglet contient une description succincte de l'utilisation du fichier.

Les cellules sur fond jaune de l'onglet « Données du projet » doivent toutes être remplies pour effectuer le calcul du MKF. Elles peuvent inclure, soit une valeur fixe, soit une formule créée par l'utilisateur. Les cellules situées en bas de page (colonnes A à E ligne 106 ss) peuvent être utilisées pour créer les formules.

Les cellules sur fond bleu contiennent des valeurs prédéterminées qu'il est possible de modifier. Tout changement de ces valeurs doit être justifié dans les cellules B93 à B98.

Les cellules sur fond orange contiennent des formules qui ne peuvent pas être modifiées par l'utilisateur, c'est pourquoi elles sont verrouillées.

### 4 Onglet « Données du projet »

Toutes les données nécessaires pour le calcul du MKF sont introduites dans cet onglet. Il est constitué de 2 parties :

- Les données générales du projet, qui sont utilisées par plusieurs positions ou pour des raisons de monitoring par l'OFEN (lignes 3 à 33).
- Les données spécifiques à chaque position (lignes 34 à 90).

Il est important d'entrer une valeur dans chaque cellule jaune. Si vous mettez une valeur « 0 » dans une cellule, veuillez en justifier la raison dans une cellule « Commentaires » (ligne 100ss).

Il faut sélectionner dans la cellule B5 si la variante 2 est une ligne souterraine ou mixte. Dans le 1<sup>er</sup> cas, les cellules pour les données de la portion aérienne (colonne D) seront marquées en rouge et leurs valeurs entrées ne seront pas considérées.

Pour une ligne mixte, il se peut que l'on ait plusieurs sections souterraines ou aériennes. Dans ce cas, il faut sommer les valeurs de toutes les sections souterraines ou aériennes, car le fichier n'autorise qu'une entrée par portion.

Tous les coûts nécessaires pour construire et exploiter la ligne doivent être considérés. Ils incluent également l'extension ou la modification des sous-stations, cabines transformatrice et de distribution.

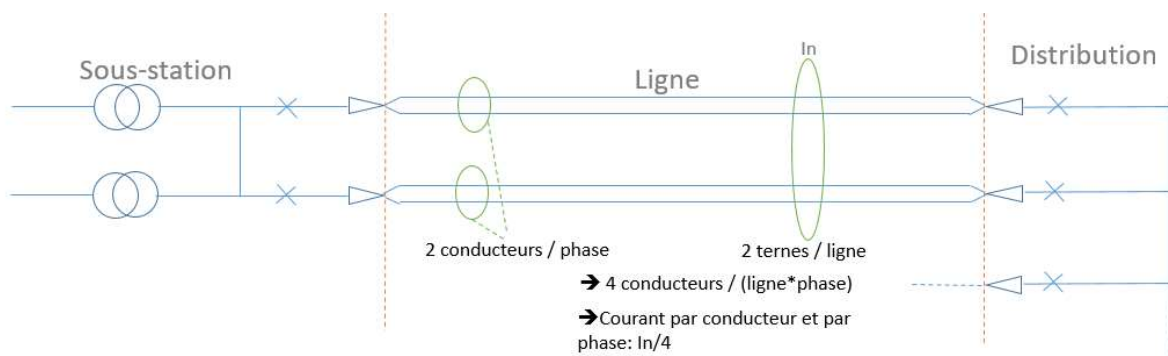


Fig. 2 : Schéma unifilaire typique simplifié

## 4.1 Données générales

Comprend les données générales du projet nécessaires pour déterminer les différents éléments des coûts totaux. Les données suivantes doivent être entrées ou sont calculées :

Nom du projet:	Utiliser le même nom que pour les documents officiels de demande d'autorisation.
Variante 1 :	La variante 1 est par définition une ligne aérienne
Variante 2 :	Sélectionner s'il s'agit d'une ligne souterraine ou mixte en utilisant le menu déroulant. Dans le cas d'une ligne souterraine, les cellules de la colonne D (portion aérienne) sont marquées en rouge et les valeurs entrées non considérées.
Nature majoritaire du terrain :	Choisir le type de terrain en utilisant le menu déroulant. Cette valeur est nécessaire pour des besoins de monitoring. Elle n'a pas d'effet sur le calcul du MKF.
Type majoritaire de zone protégée :	Choisir le type de zone protégée en utilisant le menu déroulant. Cette valeur est nécessaire pour des besoins de monitoring. Elle n'a pas d'effet sur le calcul du MKF.
Remplacement de ligne existante :	Choisir s'il s'agit d'un remplacement de ligne existante ou d'une nouvelle ligne en utilisant le menu déroulant. Cette valeur est nécessaire pour des besoins de monitoring. Elle n'a pas d'effet sur le calcul du MKF.
Tracé :	Donner un nom si différents tracés sont étudiés.
Version :	Commencer par 1.00 et incrémenter à chaque modification.
Responsable :	Enter le Prénom, Nom, Organisation de la personne effectuant le calcul.
Date :	Il s'agit de la date courante. Elle est mise à jour automatiquement et ne doit donc pas être remplie manuellement.
Tension de service U [kV] :	Mentionner la tension à laquelle la ligne électrique sera exploitée.
Niveau de réseau [-] :	Valeur déterminée automatiquement en fonction de la tension de service : Niveau 7 : < 1kV Niveau 5 : de 1 à <36 kV Niveau 3 : de 36 kV à <220kV Niveau 1 : ≥220kV
Courant nominal In [A] :	Entrer le courant pour lequel la ligne est dimensionnée. Il s'agit du courant nominal entre sous-stations, stations transformatrices ou cabines de distribution (voir Fig. 2). Il est calculé pour des températures de conducteurs de 60°C (ligne souterraine) et 20°C (ligne aérienne).
Puissance apparente nominale Sn [VA] :	Valeur calculée : Il s'agit de la puissance que transmet la ligne à la tension de service sous le courant nominal In ( $S_n = \sqrt{3} * U * I_n * 1'000$ ).



Facteur de charge FC [%] :

Rapport entre l'énergie électrique effectivement transportée sur une période donnée et l'énergie qu'elle aurait transporté si elle avait fonctionné sous puissance nominale durant la même période. Cette valeur correspond à la charge moyenne de la ligne. Par défaut elle est définie à 50%. Si nécessaire, elle peut être modifiée manuellement. Dans ce cas, la nouvelle valeur doit être justifiée dans la cellule de commentaire ligne 93.

Puissance apparente moyenne transportée Sm [VA] :

Valeur calculée :  $P_n * FC$

Coût moyen pondéré du capital WACC [%] :

Valeur définie par le conseil fédéral pour l'année suivante (adresse internet, voir chap. 6). La valeur de 3.83% est donnée par défaut. Elle peut être modifiée manuellement si nécessaire. Dans ce cas, la nouvelle valeur doit être justifiée dans la cellule de commentaire ligne 94.

Taux de renchérissement [%] :

La valeur de 0.5% est donnée par défaut. Elle peut être modifiée manuellement si nécessaire. Dans ce cas, la nouvelle valeur doit être justifiée dans la cellule de commentaire ligne 95.

Durée de vie [années] :

Durée de vie des composants les plus durables des réalisations comparées. 80 ans est la valeur par défaut. Elle correspond à deux fois la durée de vie moyenne d'un câble et est compatible avec la durée de vie d'une ligne aérienne. Elle peut être plus courte dans le cas des réseaux de niveau 5 et 7 (40 ans). La valeur par défaut peut être modifiée manuellement si nécessaire. Dans ce cas, la nouvelle valeur doit être justifiée dans la cellule de commentaire ligne 96. La valeur max. est 100.

Prix de l'électricité [EUR/MWh] :

Il s'agit de la dernière valeur publiée du « EEX Swiss power futures ». Choisir la dernière valeur publiée à 3 ans – contrats annuels. Entrer la valeur en EUR/MWh (adresse internet, voir chap. 6).

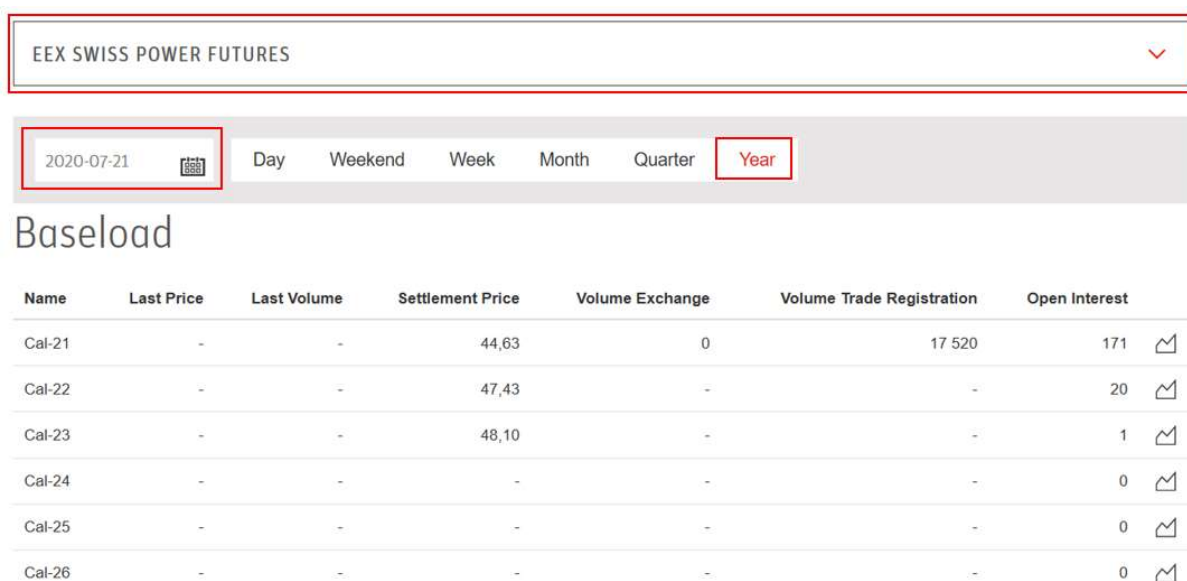


Fig. 3 : exemple de détermination du prix de l'électricité en EUR/MWh sur eex.com

Taux de change [CHF/EUR] :	La valeur de 1.12 CHF/EUR est donnée par défaut. Elle peut être modifiée manuellement si nécessaire. Dans ce cas, la nouvelle valeur doit être justifiée dans la cellule de commentaire ligne 97.
Prix de l'électricité [CHF/MWh] :	Valeur calculée : Convertit le prix de l'électricité Swissix en CHF/MWh en utilisant le taux de change défini ci-dessus.
Taux $i$ appliqué pour la VAN [%] :	Valeur calculée : Il s'agit du WACC moins le taux de renchérissement conformément à l'art.11c, Al. 4, OLEI.
Longueur de la ligne [km] :	Entrer la longueur de la ligne électrique en km pour : <ul style="list-style-type: none"><li>- La ligne aérienne</li><li>- La ligne souterraine ou la portion souterraine de la ligne mixte</li><li>- La portion aérienne de la ligne mixte, si applicable.</li></ul>

## 4.2 Coûts par position

**Si la variante 2 est une ligne souterraine, il faut laisser vide toutes les valeurs correspondant à la portion aérienne (cellules sur fond rouge). Toute valeur entrée ne sera pas prise en considération.**

### *a. planification*

Les coûts de planification des deux variantes « Lignes aérienne » et « Ligne souterraine ou mixte » doivent être entrés dans les cellules jaunes.

Il s'agit des coûts internes au GRD ainsi que ceux des sociétés externes mandatées (bureaux d'ingénieur civil, géomètre, électrique). Ils sont générés avant la mise en service de la ligne et ne seront donc pas actualisés.

Pour une meilleure compréhension des résultats, nous recommandons de détailler les coûts individuels dans les cellules libres de l'onglet puis d'effectuer une somme dans les cellules jaunes.

### *b. terrain-concession-servitude*

Les coûts d'acquisition des terrains sont imputés avant la mise en service de la ligne. Ils ne seront donc pas actualisés.

Pour les coûts d'acquisition de concessions de droits et de servitudes, on entrera une valeur annuelle moyenne valable pendant la durée de vie du projet. Par exemple : coûts des concessions 10'000 CHF tous les 10 ans → Valeur à entrer : 1'000 CHF/an.

### *c. reconstitution*

On considère ici les coûts des mesures de reconstitution et de remplacement: il s'agit des coûts à la charge du maître de l'ouvrage pour des mesures de protection de la nature, reboisement, etc.

Ils sont générés avant la mise en service de la ligne et ne seront donc pas actualisés.

Pour une meilleure compréhension des résultats, nous recommandons de lister les coûts individuels dans les cellules libres de l'onglet (Colonnes A à E, lignes 106ss) puis d'effectuer une somme dans les cellules jaunes B42, C42 et D42.

*d. matériel*

On entrera les coûts du matériel nécessaire à la réalisation du projet incluant son transport sur site.

Ils devront être décomposés selon les positions suivantes :

Position	Description	Ligne aérienne	Ligne souterraine ou mixte	
			Portion souterraine	Portion aérienne
<b>Pylônes</b>	Pylônes supportant les conducteurs, matériel de mise à la terre	X		X*
<b>Conducteurs</b>	Conducteurs, isolateurs, brides	X		X*
<b>Interface ligne - câble</b>	Structure métallique faisant l'interface entre un câble et une ligne aérienne	X**	X	
<b>Câbles</b>	Prix des câbles, bobines de câbles		X	
<b>Terminaisons de câbles, accessoires</b>	Terminaisons de câbles, supports, brides, chemins de câbles		X	
<b>Modification des sous-stations et tableaux de distribution</b>	Transformateurs, tableaux de distribution, protection et contrôle, services auxiliaires, raccordements	X	X	

\* : Pour ligne mixte.

\*\* : P.ex. tableau de distribution avec départ en câbles, puis ligne aérienne en sortie de bâtiment

On recommande pour plus de clarté de décomposer plus finement chaque position. Pour cela on peut utiliser les cellules libres de l'onglet (Colonnes A à E, lignes 106ss) et effectuera une somme dans les cellules jaunes correspondantes.

Les coûts d'éventuelles solutions pour compenser l'énergie réactive ou pour une modification du régime du point neutre ne sont pas considérés dans le calcul de MKF. Bien qu'ils soient imputables pour le calcul des tarifs réseaux, on ne peut en général pas les allouer à un projet particulier, car ils font partie de mesures d'amélioration du réseau dans son ensemble. Cette situation a été prise en considération pour la détermination du MKF dans L'OLEI.

Les coûts de génie civil comprenant également les tubes doivent être entrés sous la position « e. construction & montage ».

*e. construction & montage*

On distinguera entre :

- Les coûts de génie civil : réalisation des tranchées, fourniture et pose des tubes pour câbles, réalisation des fondations pour les pylônes de lignes électriques.
- Les coûts de montage comprenant la main d'œuvre pour l'assemblage sur site des équipements inclus dans la position d.

On recommande par raison de clarté de décomposer plus finement chaque position. Pour cela on peut utiliser les cellules libres de l'onglet (Colonnes A à E, lignes 106ss) et effectuer une somme dans les cellules jaunes correspondantes.

#### *f. démantèlement*

Conformément aux commentaires de la révisions partielle de l'OLEI, les coûts de démantèlement doivent également inclure la valeur résiduelle des installations démantelées qui entraînent alors des amortissements exceptionnels.

Dans le fichier Excel, le montant de la valeur résiduelle et le montant des travaux de démantèlement doivent être indiqués séparément (lignes 57 et 58 respectivement).

#### *g. maintenance & réparation*

On distinguera entre :

- Les coûts des maintenances annuelles: retouches sur la protection anticorrosion, mesures électriques, taillage des arbres environnant, réparations, ... : Les coûts par km de ligne doivent être entrés dans les cellules ligne 61.
- Les coûts des grosses maintenances par km de ligne doivent être entrés manuellement dans les cellules B62 à D69. Pour pouvoir les actualiser selon la méthode décrite au par. 2.1, il faut entrer dans la colonne F le nombre d'années après la mise service auxquelles ces maintenances seront effectuées.

Les coûts des composants qui doivent être remplacés au cours de la durée de vie (par exemple remplacement des câbles après 40 ans) seront considérés dans la positions h ci-dessous.

#### *h. remplacement*

Les coûts des composants qui doivent être remplacés pendant la durée de vie, doivent être entrés dans les cellules correspondantes :

- Remplacement des câbles (typiquement à mi durée de vie)
- Remplacement des conducteurs isolateurs pour ligne aérienne
- Remplacements non listés ci-dessus (par exemple pylônes en bois)

Pour pouvoir actualiser ces coûts selon la méthode décrite au par. 1.2 il faut entrer dans la colonne F le nombre d'années après la mise service auxquelles ces remplacements seront effectués.

#### *i. pertes énergie*

Ces données permettent de calculer la valeur actualisée des pertes d'énergie pendant la durée de vie de la ligne. Les caractéristiques des conducteurs (lignes aériennes) et des câbles (lignes souterraines) doivent être déterminées par le maître de l'ouvrage et entrées dans les cellules correspondantes.

Les caractéristiques des conducteurs et câbles sont spécifiques à chaque projet et dépendent fortement du type de câble (mono- ou triphasés), du nombre de câbles par phase, du type de pose, des courants de service et de court-circuit.

Une ligne peut être constituées de plusieurs ternes (un terne est raccordé à un départ spécifique dans la sous-station) et chaque terne peut être constitué de plusieurs conducteurs par phase (voir Fig.2). Pour le calcul des pertes, on considère que le courant  $I_n$  se répartit de manière uniforme entre tous les conducteurs :

$$I_{\text{conducteur}} = \frac{I_n}{\text{Nombre de ternes} * \text{nombre de conducteurs par phase}}$$

Les données nécessaires pour calculer les pertes sont :

Pour la ligne aérienne :

- Le type de conducteur: Veuillez entrer le type de conducteur prévu et joindre une « data sheet » dans laquelle les caractéristiques techniques sont mentionnées (matériau, section, résistance, ...).
- Nombre de ternes : Entrer le nombre de ternes constituant la ligne en utilisant le menu déroulant.
- Nombre de conducteurs par phase : Entrer le nombre de conducteurs en parallèle par phase, en utilisant le menu déroulant.
- Résistance du conducteur R [Ohm/km]: Entrer la valeur de la résistance par km d'un conducteur à la température de 20°C. La formule de calcul des pertes tiendra compte du nombre de conducteurs en //

Pour la ligne souterraine :

- Le type de câble: Veuillez entrer le type de câble prévu et joindre une « data sheet » dans laquelle les caractéristiques techniques sont mentionnées (matériau, section, résistance, capacité. ...).
- Nombre de ternes : Entrer le nombre de ternes constituant la ligne en utilisant le menu déroulant.
- Nombre de câbles par phase : Entrer le nombre de câbles en parallèle par phase, en utilisant le menu déroulant.
- Résistance du conducteur R [Ohm/km]: Entrer la valeur de la résistance par km d'un câble à la température de 60°C. La formule de calcul des pertes tiendra compte du nombre de conducteurs en //
- C [ $\mu$ F/km] de chaque câble: Entrer la valeur de la capacité par km d'un câble. La formule de calcul des pertes tiendra compte du nombre de câbles en //.
- Tan delta [-] La valeur de 0.00035 est prédéterminée car elle n'est pas mentionnée dans les fiches de données des fournisseurs. Une modification manuelle de cette valeur doit être justifiée dans la cellule de commentaire ligne 98.

### 4.3 Commentaires

- Modification des valeurs par défaut : Toute modification des valeurs prédéterminées (cellules bleues) doit être justifiée. Pour cela, veuillez utiliser les cellules B93 à B98.
- Commentaires supplémentaires: Tout autre commentaire nécessaire à la compréhension des données sera écrit dans les cellule B100 à B105.

## 5 Onglet « Résultats »

Les valeurs des coûts calculées par position a ... i sont mentionnées et additionnées pour déterminer les coûts totaux de chaque variante.

Le facteur de surcoût est calculé dans la cellule C18 (coûts totaux ligne souterraine ou mixte / coûts totaux ligne aérienne).

Un graphique en barres verticales permet de visualiser les coûts totaux de la variante mixte ou souterraine par rapport à la variante aérienne ainsi que la part de chaque position dans le total pour la ligne aérienne, la ligne souterraine et – dans le cas d'une solution mixte – de sa portion aérienne.

## 6 Liens utiles

Communication OFEN, EICOM, ESTI concernant « L'application de l'Article 15c LIE dans le cadre de la procédure d'approbation des plans » :

<https://pubdb.bfe.admin.ch/fr/publication/download/10089>

Fichier Excel MKFactory :

<https://pubdb.bfe.admin.ch/fr/publication/download/10069>

Page internet OFEN sur les « Lignes aériennes et souterraines » :

<https://www.bfe.admin.ch/bfe/fr/home/approvisionnement/approvisionnement-en-electricite/reseaux-d-electricite/lignes-aeriennes-ou-souterraines.html>

Loi sur les installations électriques, LIE, SR734.0 :

<https://www.admin.ch/opc/fr/classified-compilation/19020010/index.html>

Modification de la LIE du 15 décembre 2017 :

<https://www.admin.ch/opc/fr/official-compilation/2019/1349.pdf>

Ordonnance sur les lignes électriques, OLEI, SR 734.31 :

<https://www.admin.ch/opc/fr/classified-compilation/19940083/index.html>

Ordonnance sur les lignes électriques, OLEI, SR 734.31, modification du 3 avril 2019:

<https://www.admin.ch/opc/fr/official-compilation/2019/1377.pdf>

Commentaires concernant la révision partielle de l'OLEI :

<https://pubdb.bfe.admin.ch/fr/publication/download/9671>

WACC :

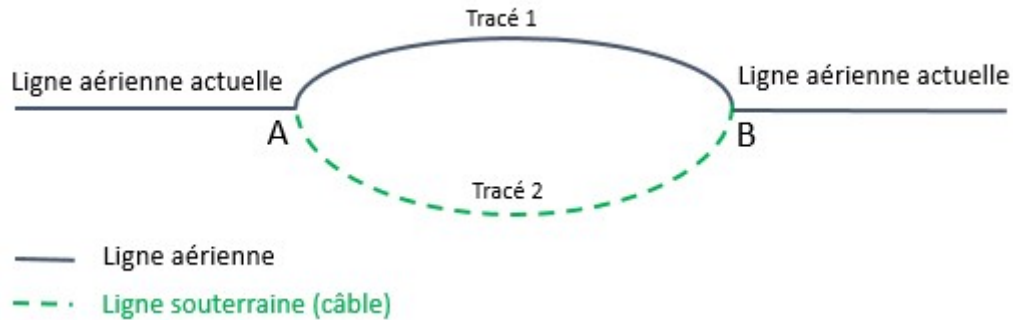
<https://www.bfe.admin.ch/bfe/fr/home/actualites-et-medias/communiqués-de-presse/mm-test.msg-id-74112.html>

Détermination du prix de l'électricité en EUR/MWh :

<https://www.eex.com/en/market-data/power/futures>

## Annexe 1 : Exemples de calculs pour ligne partiellement câblée

### Exemple 1 :



Dans le cas d'une ligne aérienne existante où seul un tronçon A-B doit être renouvelé, le calcul du MKF se fait uniquement sur le tronçon A-B concerné :

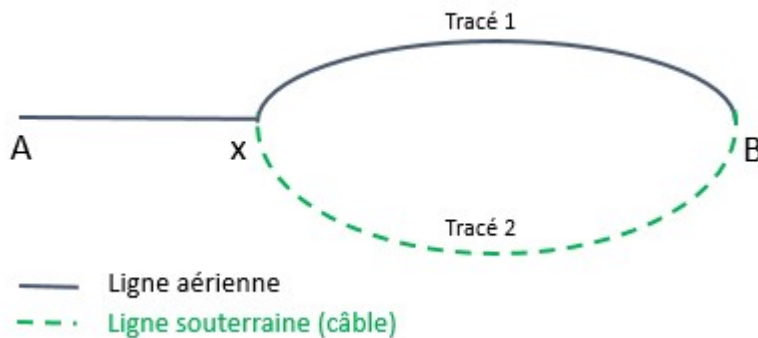
Les coûts, calculés avec l'outil MKFactory sont :

- $Cl_{A-B}$  pour la ligne aérienne (tracé 1)
- $Cls_{A-B}$  pour la ligne souterraine (tracé 2)

Le MKF de la ligne A-B est :

$$MKF = \frac{Cls_{A-B}}{Cl_{A-B}}$$

### Exemple 2 :



La section A-x ne peut pas être câblée. Elle sera donc réalisée comme ligne aérienne dont les coûts, calculés avec l'outil MKFactory sont :  $Cl_{A-x}$

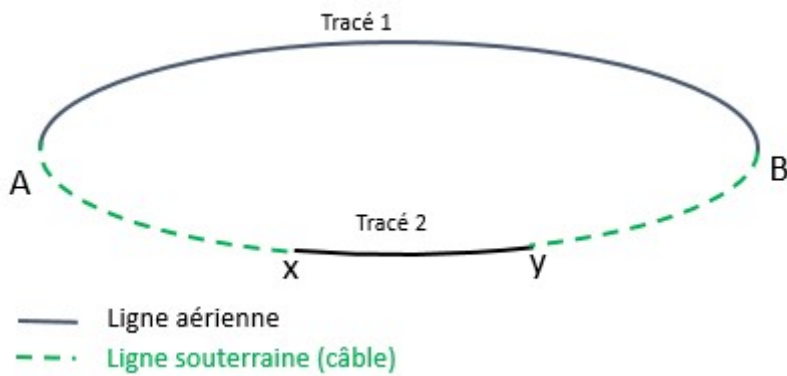
La section x-B peut être réalisée avec les deux variantes dont les coûts, calculés avec l'outil XXXX sont :

- $Cl_{x-B}$  pour la ligne aérienne (tracé 1)
- $Cls_{x-B}$  pour la ligne souterraine (tracé 2)

Le MKF de la ligne A-B est :

$$MKF = \frac{Cl_{A-x} + Cl_{x-B}}{Cl_{A-x} + Cl_{x-B}}$$

Exemple 3 :



La ligne entièrement aérienne passe par le tracé 1. Les coûts, calculés avec l'outil MKFactory sont :  $Cl_{A-B}$

Il n'est pas possible de réaliser une ligne enterrée sur toute la longueur. Le tracé choisi (tracé 2) doit avoir une partie aérienne. Les coûts, calculés avec l'outil MKFactory sont :  $Cl_{S_{A-x}} + Cl_{a_{x-y}} + Cl_{S_{y-B}}$

Le MKF de la ligne A-B, est :

$$MKF = \frac{\text{Coûts tracé 2}}{\text{Coûts tracé 1}} = \frac{Cl_{S_{A-x}} + Cl_{a_{x-y}} + Cl_{S_{y-B}}}{Cl_{A-B}}$$