

Fonctions Alimenter Protéger Distribuer
(Compensation de l'énergie réactive)

Support d'activité : Installations Electriques d'un Lycée Polytechnique de L'Ile de la Réunion

Niveau : TERMINALE

Travail Pratique

Durée : 6h45

COMPETENCES ATTENDUES

PREREQUIS

- Notions sur le tarif vert

CONNAISSANCES NOUVELLES

- Effectuer une démarche réelle pour supprimer les pénalités dues à une consommation trop importante d'énergie réactive en tarif vert

CONDITIONS D'ETUDE

- PC + logiciel Ecodial 3
- Documents techniques : DT8 à DT10 (factures EDF partielles : recto et verso, protection contre les surcharges et contre les courts-circuits)
- Documents techniques : DT1 à DT7
- Documents ressources : le facteur de puissance et les condensateurs

EVALUATION

	A	B	C	D	E
- Quantité de travail fourni					
- Initiative et autonomie					
- Organisation, mise en œuvre, contrôle d'une activité de réalisation, de maintenance					
- Mobilisation des connaissances					

Appréciations :

Fonctions Alimenter Protéger Distribuer (compensation de l'énergie réactive)**Mise en situation**

Le Proviseur d'un Lycée Polytechnique de l'Ile de la Réunion a souscrit avec Electricité de France (EDF) un tarif vert pour les besoins en énergie électrique de son établissement.

Il décide de diminuer sa facture d'électricité afin d'éviter la consommation d'énergie réactive au-delà de la franchise allouée par le distributeur en faisant installer une batterie de condensateurs.

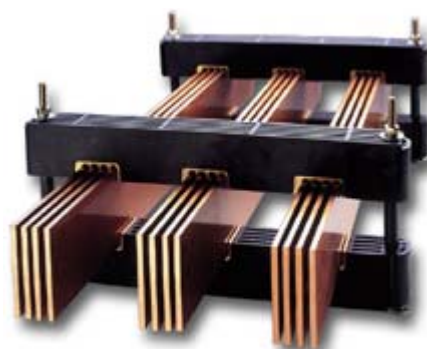
La batterie sera raccordée en tête d'installation (compensation globale) au niveau du jeu de barres du T.G.B.T.

Vous allez devoir au cours de l'activité proposée :

- choisir la puissance de la batterie de condensateurs à installer afin de compenser la valeur du $\cos \phi$ à une valeur non pénalisante ;
- choisir l'appareil de protection de l'équipement de compensation ;
- choisir la section des conducteurs du câble permettant le raccordement de l'équipement de compensation ;
- vérifier certains de vos choix à l'aide du logiciel Ecodial3.



Tableau Général Basse Tension



Jeu de barres



Disjoncteur Compact NS



Batterie de condensateurs Rectibloc (avec disjoncteur de protection) - Compensation fixe



Travail demandé

1. Démarche de choix de la batterie de condensateurs

1.1. Calcul de la puissance réactive nécessaire à partir de la facture d'électricité

- Identifier la facture partielle (côté recto) pour laquelle les kvar facturés sont les plus élevés parmi celles proposées, vous devez préciser la période de consommation.
☛ Document technique DT8 [Factures EDF partielles (côté recto)].
- Relever la tangente φ au primaire.
- Saisir la puissance active atteinte (kW) la plus élevée en période P ou HP sur la facture partielle correspondante (côté verso).
☛ Document technique DT9 [Factures EDF partielles (côté verso)].
- Calculer la puissance de la batterie de condensateurs Q_{ci} (en kvar) à installer en appliquant la formule :
 $Q_{ci} = \text{puissance atteinte (kW)} \times (\text{tangente } \varphi - 0,4)$
- Retenir une puissance nominale Q_{cn} juste supérieure ou égale à la puissance Q_{ci} calculée (dans l'offre Merlin Gérin). Remarque : la batterie retenue sera du type standard.
☛ Documents techniques DT1 [Rectibloc (avec disjoncteur de protection) - Compensation fixe] ou DT2 (Rectimat 2 - Compensation automatique).



1.2. Choix du type de compensation : fixe ou automatique

☞ Dans le cas de la compensation globale choisie pour l'installation électrique du Lycée, le ratio Q_{cn}/S_n [S_n = puissance apparente (kVA) du transformateur de l'installation] permet de choisir entre un équipement de compensation fixe ou automatique.

Les équipements à régulation automatique permettent d'ajuster en permanence la compensation aux besoins de l'installation.

- $Q_{cn}/S_n \leq 15 \% \Rightarrow$ compensation fixe.
- $Q_{cn}/S_n > 15 \% \Rightarrow$ compensation automatique.
- Préciser le type de compensation à retenir sachant que $S_n = 630 \text{ kVA}$, votre réponse doit être justifiée.



1.3. Choix de la batterie de condensateurs

- Préciser la référence exacte de la batterie à retenir.
- Préciser la désignation exacte du disjoncteur intégré à cette batterie ainsi que son pouvoir de coupure I_{cu} (kA eff.). Remarque : la caractéristique du disjoncteur (I_{cu} en kA) sera utilisée par la suite.



2. Protection et raccordement de l'équipement de compensation

2.1. Le disjoncteur

📖 Pour les condensateurs Rectibloc (type standard), la tolérance sur la valeur de la capacité $\Delta C/C$ est inférieure ou égale à 15 %.

Le cumul de l'amplification du courant de 30 %, due à la variation de la tension et aux composantes harmoniques avec l'amplification de 15 %, due à la tolérance sur la valeur de la capacité, peut conduire à une amplification de $1,3 \times 1,15 = 1,5 I_n$ ⁽¹⁾.

Le courant d'emploi I_b , utilisé pour déterminer le courant assigné du dispositif de protection sera donc de $1,5 I_n$.
 (1) $I_n = Q_{cn}/(\sqrt{3} \times U_n)$ = courant nominal de la batterie de condensateurs (A) sous la tension U_n (V), avec Q_{cn} en var.

• Préciser pour le disjoncteur intégré à la batterie de condensateurs choisie précédemment la valeur de réglage du seuil de déclenchement de la protection thermique I_r (A). I_r doit être supérieur ou égal à I_b .

On précise : le disjoncteur est équipé d'un déclencheur magnétothermique TM-D ; la tension du réseau est : $U_n = 400$ V.

📖 Documents techniques DT3, DT4 (Disjoncteurs Compact NS de 100 à 630 A, déclencheurs - Caractéristiques et choix) et document technique DT5 (Déclencheurs TM-D, TM-G, STR22SE/GE - Pour Compact NS100 à NS250).

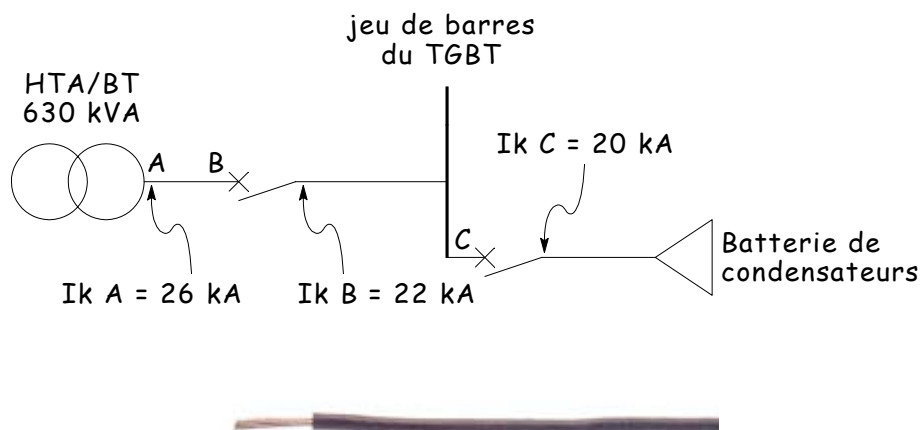
📖 Le seuil de déclenchement de la protection contre les courts-circuits (magnétique) doit permettre de laisser passer les transitoires d'enclenchement (condensateurs déchargés à la mise sous tension) : pointe de courant $\approx 10 \times I_n$. Rappel : un condensateur déchargé se comporte comme un court-circuit à la mise sous tension pendant un court instant.

• Contrôler que le seuil de déclenchement I_m (A) de la protection contre les courts-circuits de ce disjoncteur laisse passer les transitoires d'enclenchement.


📖 Documents techniques DT3, DT4 et DT5.

• A partir des informations portées sur le schéma unifilaire ci-dessous, vérifier que le disjoncteur assure bien la première condition concernant la protection d'un circuit contre les courts-circuits.

📖 Document technique DT10 (Protection contre les surcharges et contre les courts-circuits).



2.2. Raccordement (choix de la section du câble)

 La méthode permettant de déterminer la section des conducteurs d'un câble (pour les canalisations non enterrées et protégées par disjoncteur) est présentée sur les documents techniques DT6 et DT7 (Détermination des sections de câbles).


 Document technique DT10 (Protection contre les surcharges et contre les courts-circuits).

Les données techniques du câble (alimentant la batterie de condensateurs) et de son environnement sont les suivantes :

- Désignation du câble : **U 1000 R2 V 4 G _ _ _ mm²** ;
- Longueur : **3 m** ;
- Mode de pose : le câble est **posé seul sous conduit en montage apparent**, aucun autre conduit n'est groupé avec ce dernier ;
- Température ambiante : **50 °C** ;
- Facteur de correction (neutre chargé) : **K_n = 1** ;
- Facteur de correction dit de symétrie : **K_s = 1**.

Exemple de câble U 1000 R2 V 4 G _ _ _ mm² →



- Préciser la lettre de sélection.
 - Préciser la valeur du facteur de correction K1 qui prend en compte le mode de pose.
 - Préciser la valeur du facteur de correction K2 qui prend en compte l'influence mutuelle des circuits placés côte à côte.
 - Préciser la valeur du facteur de correction K3 qui prend en compte la température ambiante et la nature de l'isolant.
-  Voir mémotech (câbles et conducteurs) pour connaître la nature de l'isolant du câble.

- Calculer le coefficient K, en appliquant la formule suivante : $K = K1 \times K2 \times K3 \times K_n \times K_s$.
 - Calculer l'intensité fictive I'z prenant en compte le coefficient K, en appliquant la formule suivante : $I'z = I_r / K$.
- Rappel : I_r est la valeur de réglage du seuil de déclenchement de la protection thermique déterminée précédemment.

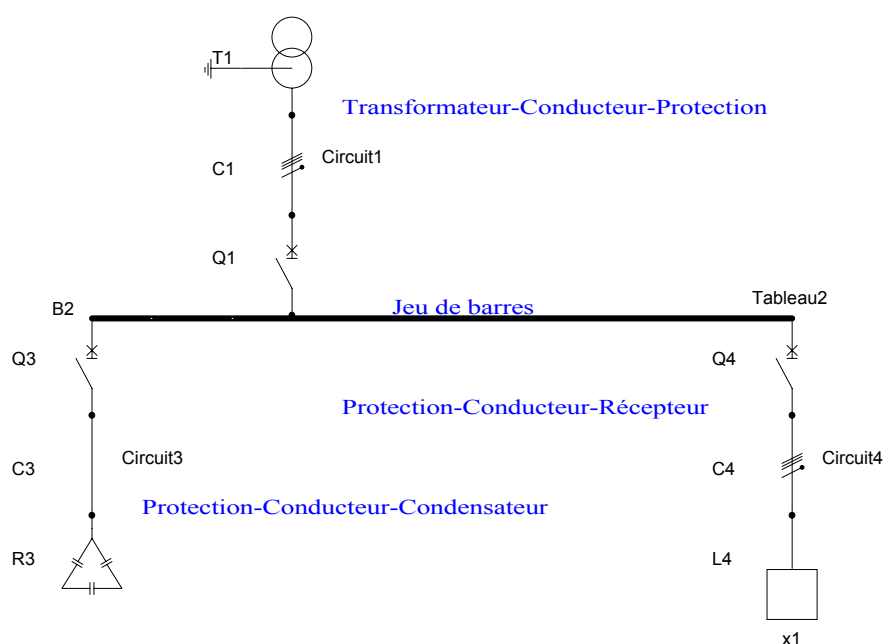
- Préciser la valeur de la section des conducteurs du câble.



3. Application sous Ecodial3

3.1. Création du schéma unifilaire

- Mettez votre ordinateur sous tension puis double-cliquez l'icône de l'application Ecodial3.
- Dans la boîte de dialogue **Caractéristiques globales** demander un **Cosphi global à atteindre de 0,93** puis cliquez **OK** pour enregistrer les informations saisies.
- Réalisez le schéma ci-dessous en utilisant la palette de symboles électriques.



- Saisir les caractéristiques du circuit 4 :
 - Longueur (m) - C4 **50**
 - Puissance (kW) **158**
 - Cos phi **0,81**
- Saisir les caractéristiques du circuit 3 :
 - Longueur (m) - C3 **3**




3.2. Bilan de puissance et prédimensionnement

- Lancez le bilan des puissances, menu **Calcul** puis commande **Bilan de puissance**. Un message apparaît, cliquez **OUI**. La boîte de dialogue **Bilan de puissance** apparaît. Cliquez **OK** pour valider le bilan de puissance, la boîte de dialogue **Bilan de puissance** se ferme et les valeurs du bilan de puissance s'affichent automatiquement sur le schéma.
- Lancez le prédimensionnement du réseau, menu **Calcul** puis commande **Prédimensionnement** (cette commande permet d'évaluer très rapidement le dimensionnement de l'installation), le calcul de prédimensionnement est lancé. A la fin du calcul, cliquez le menu **Affichage**, puis la commande **Rétroannotation des calculs**, certains résultats s'affichent à l'écran.

- Complétez le tableau ci-dessous pour le circuit 3.

	Résultats affichés	Résultats trouvés précédemment (Parties 1 & 2)
Courant assigné (A) du disjoncteur Compact NS _ _ _		
Réglage du seuil de déclenchement Ir (A) du déclencheur thermique du TM-D		
Puissance (kvar) de la batterie de condensateurs		
Compensation fixe ou automatique		
Section (mm ²) d'un conducteur de phase et nature de l'âme		
Section (mm ²) du conducteur de protection PE et nature de l'âme		


 Comme vous pouvez le constater (si vos résultats sont justes), certains résultats diffèrent au niveau de la section des conducteurs. La solution est d'affiner le calcul de l'installation en fonction de caractéristiques ou de contraintes définies en remplaçant celles données par défaut par Ecodial3 (exemple : mode de pose de la canalisation, température ambiante, conducteur PE séparé ou inclus dans le câble...). Pour cela, vous allez utiliser la commande **pas à pas** du menu **Calcul**.

Remarque : il n'est pas possible d'obtenir une compensation fixe avec Ecodial3 mais cela n'est pas important pour le choix de la section des conducteurs.



3.3. Calcul pas à pas

- Lancez le calcul pas à pas, menu **Calcul** puis commande **Calcul pas à pas**.

 Les drapeaux verts dans l'arborescence du réseau indiquent que tous les éléments ont été calculés. Le seul élément à reprendre est le **Circuit3**.


- Cliquez l'élément **Circuit3** dans l'arborescence du réseau. L'élément **Circuit3** s'affiche.
- Cochez la case **Toutes les caractéristiques** (en bas, à gauche de l'écran) pour avoir accès aux entrées de deuxième niveau.
- Cliquez pour commencer le champ **Mode de pose** du **Câble C3** de **Circuit3**, un bouton apparaît dans ce champ, cliquez ce bouton, une boîte de dialogue s'ouvre. Choisir le **Critère** correspondant à l'application, choisir le **Mode de pose** correspondant toujours à l'application, choisir **Conduits** : **Non jointifs** (remarque : vous pouvez afficher l'illustration associée), puis cliquez le bouton **OK**.

 Le drapeau de l'élément **Circuit3** est devenu rouge.

- Effectuez le même travail que précédemment pour les caractéristiques suivantes :
 - **Isolant** ;
 - **Type conducteur** ;
 - **Type de PE** ;
 - **Température ambiante**.

 Lancez le calcul.

- Cliquez le bouton **Calculer**.

 A la fin des calculs les résultats apparaissent sur l'écran. Le drapeau de l'élément **Circuit3** est redevenu vert, indiquant que cet élément est de nouveau calculé. Un résumé des valeurs calculées est affiché dans le cadre **Résumé**. Les principaux résultats électrotechniques sont affichés dans la zone **Détails**.

- Complétez le tableau ci-dessous ( Cadre **Résumé**) :

Type de conducteurs	Section (mm ²)	Nature de l'âme	Isolant
Conducteurs phase :			
Conducteurs neutre :			
Conducteurs PE :			

- Complétez le texte ci-dessous ( Cadre **Détails**) :

/// Calcul du câble ///

Correction pour température ambiante = _ _ _ _

Correction mode de pose = _ _ _ _

== Résultats ==

Correction globale = _ _ _ _

Valeur du cosphi compensé = _ _ _ _

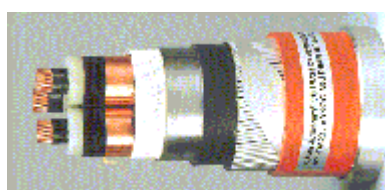
- Cliquez le bouton **Fermer**, le schéma unifilaire avec les nouveaux résultats apparaît sur l'écran.
- Comparez les résultats obtenus à l'aide d'Ecodia3 à ceux calculés ou à atteindre (vous devez compléter les tableaux ci-dessous) puis porter une conclusion.

Facteurs de correction :	Proposé par Ecodia3	Par les calculs (ou tableaux)
Pour température ambiante	K3 =	K3 =
Pour mode de pose	K1 X K2 =	K1 X K2 =

Remarque : le facteur de correction "mode de pose" proposé par Ecodial est égal au produit de K1 par K2

Section des conducteurs (mm ²) :	Proposé par Ecodia3	Par les calculs (ou tableaux)
Phases		
PE		

Valeur du cosphi :	Ecodia3
Cosphi global à atteindre	
Cosphi compensé	



Correction

1. Démarche de choix de la batterie de condensateurs

1.1. Calcul de la puissance réactive nécessaire à partir de la facture d'électricité

- Facture partielle (côté recto), période de consommation : **du 25/08/03 au 29/09/03**
- Tangente φ au primaire : **0,727**
- Puissance active atteinte (kW) la plus élevée en période P ou HP : **158 kW**
- Calcul de la puissance de la batterie de condensateurs Q_{ci} (en kvar) à installer :
 $Q_{ci} = \text{puissance atteinte (kW)} \times (\text{tangente } \varphi - 0,4) = 158 (0,727 - 0,4) = 51,192 \approx \mathbf{52 \text{ kvar}}$
- Puissance nominale Q_{cn} retenue : **60 kvar**

1.2. Choix du type de compensation : fixe ou automatique

Type de compensation à retenir : $Q_{cn}/S_n = 60/630 = 0,095$ soit $9,5 \% < 15 \% \Rightarrow$ **compensation fixe**

1.3. Choix de la batterie de condensateurs

- Référence exacte de la batterie à retenir : **52484**
- Désignation exacte du disjoncteur intégré à cette batterie : **NS160**, pouvoir de coupure I_{cu} (kA eff.) = **36**

2. Protection et raccordement de l'équipement de compensation

2.1. Le disjoncteur

- Valeur de réglage du seuil de déclenchement de la protection thermique I_r (A) : 60 kvar / 400 V - type standard
 $I_n = 60\,000/(\sqrt{3} \times U_n) = 86,60 \text{ A}$
 $I_b = 1,5 \times 86,60 = 130 \text{ A}$
 Seuil de réglage I_r (A) = **0,9 X I_n** = $0,9 \times 160 \text{ A} = 144 \text{ A}$ ($>$ à I_b)
- Contrôle du seuil de déclenchement I_m (A) de la protection contre les courts-circuits (magnétique) du disjoncteur : protection magnétique $> 10 \times I_n = 10 \times 86,60 = 860 \text{ A}$, **I_m disjoncteur = 1 250 A donc $> 860 \text{ A}$.**
- Vérification : première condition : $P_{dc} \geq I_k$
 P_{dc} ou I_{cu} du NS160 = 36 kA, $I_k C = 20 \text{ kA}$, **la première condition est bien assurée.**

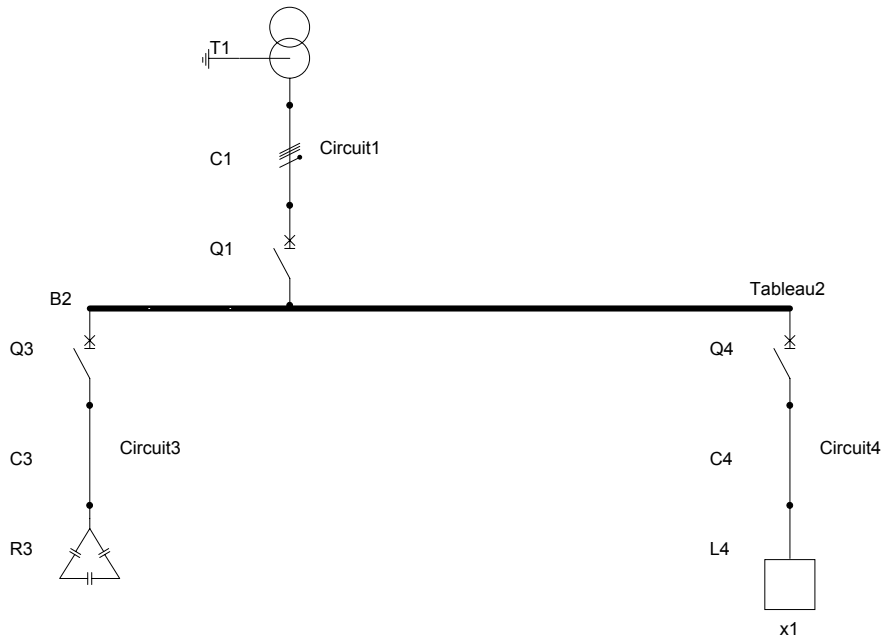
2.2. Raccordement (choix de la section du câble)

- Lettre de sélection : **B**
- Valeur du facteur de correction K_1 : **1**
- Valeur du facteur de correction K_2 : **0,90** (lettre B, câble multiconducteurs)
- Valeur du facteur de correction K_3 : **0,82** (isolant PR)
- $K = K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_n \times K_s = 1 \times 0,90 \times 0,82 \times 1 \times 1 = \mathbf{0,738}$
- $I'z = I_r/K = 144/0,738 = \mathbf{196 \text{ A}}$
- Section des conducteurs du câble : **70 mm²** (remarque : la lettre A ne figure pas sur la dénomination du câble, donc âme en cuivre).

3. Application sous Ecodial3

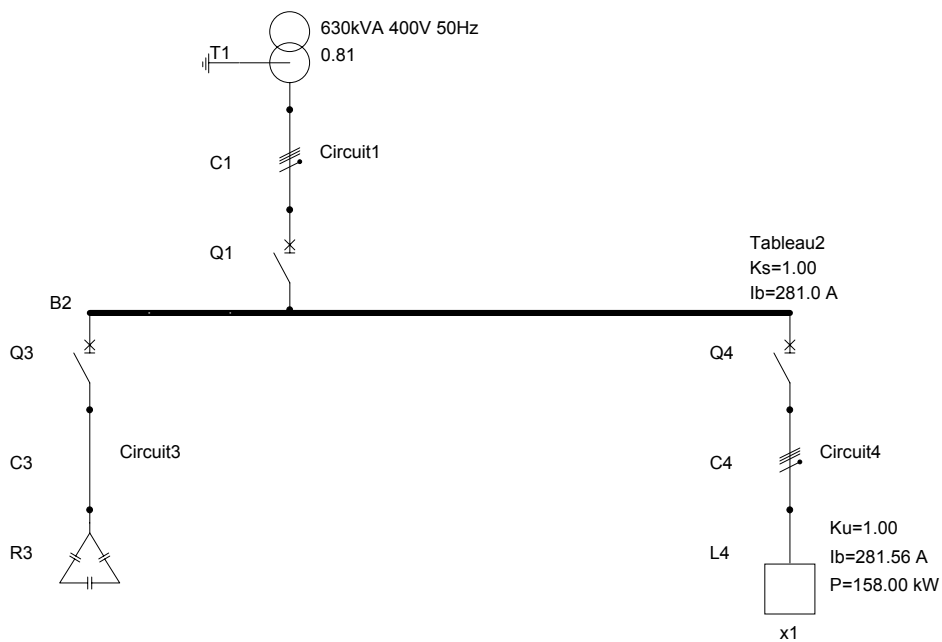
3.1. Création du schéma unifilaire

Schéma unifilaire réalisé :



3.2. Bilan de puissance et prédimensionnement

Schéma unifilaire affiché automatiquement après le bilan de puissance :



Résultats affichés à la fin du calcul (prédimensionnement) :

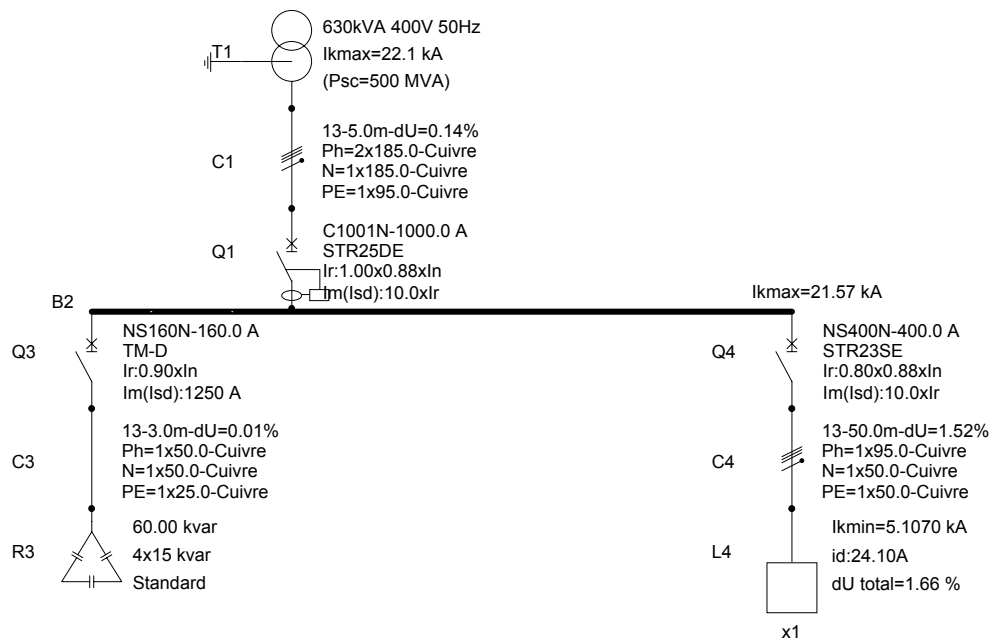


Tableau complété :

	Résultats affichés	Résultats trouvés précédemment (Parties 1 & 2)
Courant assigné (A) du disjoncteur Compact NS_ _ _	160	160
Réglage du seuil de déclenchement Ir (A) du déclencheur thermique du TM-D	0,9 X In	0,9 X In
Puissance (kvar) de la batterie de condensateurs	60	60
Compensation fixe ou automatique	Automatique (4 X 15)	Fixe
Section (mm ²) d'un conducteur de phase et nature de l'âme	50 en cuivre	70 en cuivre
Section (mm ²) du conducteur de protection PE et nature de l'âme	25 en cuivre	70 en cuivre

3.3. Calcul pas à pas

Tableau complété :

Type de conducteurs	Section (mm ²)	Nature de l'âme	Isolant
Conducteurs phase :	1 X 70	Cuivre	PR
Conducteurs neutre :	-	-	-
Conducteurs PE :	1 X 70	Cuivre	PR

Texte complété :

/// Calcul du câble ///

Correction pour température ambiante = **0.82**

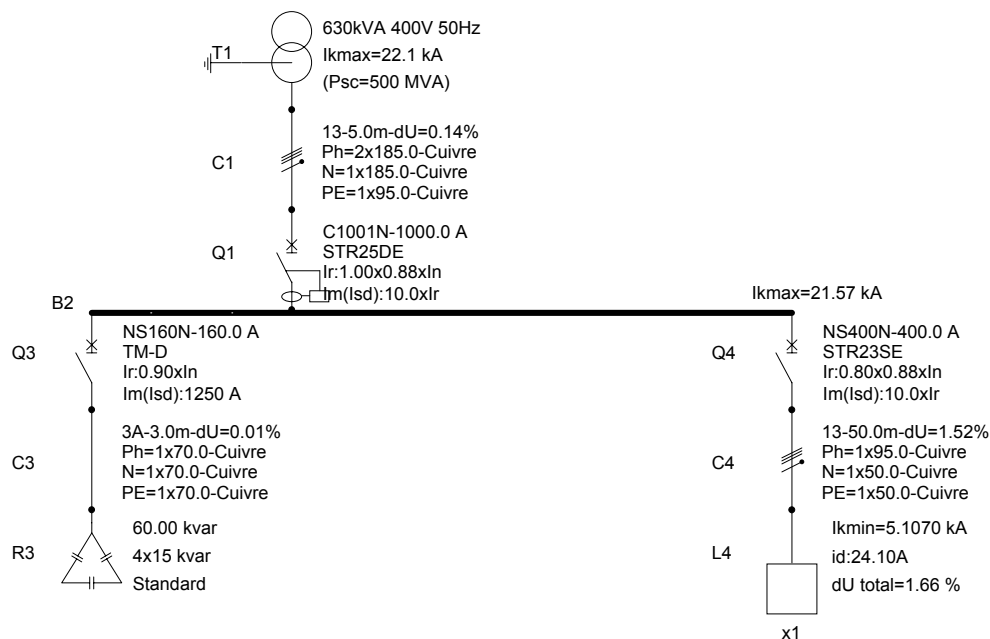
Correction mode de pose = **0.90**

== Résultats ==

Correction globale = **0.73**

Valeur du cosphi compensé = **0.93**

Schéma unifilaire avec nouveaux résultats :



Tableaux complétés :

Facteurs de correction :	Proposé par Ecodia3	Par les calculs
Pour température ambiante	K3 = 0.82	K3 = 0.82
Pour mode de pose	K1 X K2 = 0.90	K1 X K2 = 0.90

Remarque : le facteur de correction "mode de pose" proposé par Ecodial est égal au produit de K1 par K2

Section des conducteurs (mm ²) :	Proposé par Ecodia3	Par les calculs
Phases	70	70
PE	70	70

Valeur du cosphi :	Ecodia3
Cosphi global à atteindre	0.93
Cosphi compensé	0.93

Conclusion : les résultats calculés et ceux proposés par Ecodial3 sont identiques (Merci SIMCA)

INFORMATIONS COMPLEMENTAIRES

	Par défaut	Après commande Prédimensionnement	Calcul pas à pas (modifications)	Résultats finaux
Longueur (m)	0.0	3.0	3.0	3.0
Mode de pose	13	13	3A	3A
Isolant	PVC	PVC	PR	PR
Neutre chargé	Non	Non	Non	Non
Type conducteur	Unipolaire	Unipolaire	Multipolaire	Multipolaire
Arrangement conducteur	Trèfle	Trèfle	Trèfle	Trèfle
Type de PE	PE séparé	PE séparé	PE inclus	PE inclus
Disposition des circuits	Jointifs	Jointifs	-	-
Espacement des conduits	-	-	Non jointifs	Non jointifs
Nb circuits (ou conduits) jointifs suppl.	0	0	0	0
Nombre de couches	1	1	1	1
K utilisateur	1.00	1.00	1.00	1.00
Température ambiante (°C)	30	30	50	50
Delta Umax Ligne (%)	5.00	5.00	5.00	5.00
Désignation				
Nb conducteur Ph	0	1	1	1
S conducteur Ph (mm²)	0.0	50.00	50.00	70.00
Nb conducteur N	-	-	-	-
S conducteur N (mm²)	-	-	-	-
Nb conducteur PE	0	1	1	1
S conducteur PE (mm²)	0.0	25.00	25.00	70.00
Tension limite (V)	50.00	50.00	50.00	50.00
Métal du cond. de Phase	Cuivre	Cuivre	Cuivre	Cuivre
Métal du cond. du neutre	Cuivre	Cuivre	Cuivre	Cuivre
Métal du cond. de PE	Cuivre	Cuivre	Cuivre	Cuivre

Remarque importante :

Pour un calcul plus rigoureux concernant le choix de l'appareil de protection et des câbles de puissance de l'équipement de compensation : voir page K275 (distribution électrique Merlin Gérin, catalogue 2002/2003)