الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
Département du Génie Électrique



Mémoire de Fin d'Études

Présenté pour l'obtention du Diplôme
de Master en énergie renouvelable

Option : énergie renouvelable en électrotechnique

THME

ETUDE ET AMELIORATION DE LA QUALITE D'ENERGIE ELECTRIQUE

Application **: USINE INTRACE – Bousmail.**
(Industrie de Trituration des Céréales)

Proposé et dirigé par

- Dr. MOUALDIA .A
- Mr. MORSLI .A

Préparé et présenté par :

- Mr. BOUHRAOUA Toufik
- Mr. AIOULA Merouane

Année universitaire 2017/2018

ملخص

تقريبا كل الكهرباء المستهلكة في الجزائر تأتي من الوقود الأحفوري ، الذي يمكن أن يؤدي استخدامه المكثف مع نسبة عالية من الضياع و التبذير إلى الاستفادة من هذه الاحتياطيات قبل الأوان وهدا يشكل تهديدا حقيقيا لجيل المستقبل والبيئة .في نفس الوقت.

الغرض من هذا العمل (تعويض الطاقة التفاعلية) وبطريقة عملية أنه أحد طرق اقتصاد الطاقة التي يمكن أن تستجيب بطريقة ملموسة لزيادة الطلب على الطاقة الكهربائية وبالتالي تفادي بناء محطات توليد جديدة وخطوط النقل الجديدة التي تكلف غاليا حقا في هذا الوقت من الأزمة .

إن استخدام أدوات القياس المتطورة قد أتاح لنا إجراء قياسات بدقة عالية والتي تم من خلالها الكشف عن ظاهرة الرنين المفاجئة والتي نادراً ما تواجهها المنشآت التقليدية التي لا تستخدم الكثير من الأجهزة الكهربائية الإلكترونية ، وهذه الظاهرة الخطيرة تظهر خلال تشغيل خزانات المكثفات في تعويض الطاقة التفاعلية وآثارها السلبية على المكثفات

Résumé

La quasi-totalité de l'énergie électrique consommée en Algérie provient des combustibles fossiles dont l'utilisation massive avec un taux élevé de pertes et de gaspillage peut conduire à l'épuisement prématuré de ces réserves et menace réellement les futurs générations et en même temps l'environnement.

Le but de ce travail est de démontrer d'une façon pratique que l'utilisation de la compensation d'énergie réactive est une des manières d'économie d'énergie qui peut répondre et d'une façon concrète à la demande croissante de l'énergie électrique et par conséquent la construction de nouvelles centrales de production et de nouvelles lignes de transport qui coutent cher dans ces moments de crise

L'utilisation des instruments de mesures sophistiqués, nous a permis de faire des mesures avec une grande précision et même de détecter le phénomène de résonance rarement rencontré dans les installations classiques qui n'utilisent pas beaucoup d'électronique de puissance, ce phénomène dangereux qui apparait généralement lors de la mise en service de la compensation a des impacts négatifs sur les condensateurs.

Abstract

Almost all of the electricity consumed in Algeria comes from fossil fuels, whose massive use with a high rate of loss and waste can lead to the prematured epletion of the sereserves and really threat en future generations and at. the same time the environnement.

The purpose of this workis to demonstrate in a practical waythat the use of reactive energy compensation is one of the ways of saving energy that can respond and concretely to the growing demand of the electricity and consequently the construction of new generation plants and new transmission lines that are expensive in these times of crisis.

The use of sophisticated measuring instruments has enabled us to make measurements with great Precision and even to detect the resonance phenomen onrarely encountered in conventional Installations that do not use a lot of power electronics, this dangerous phenomen on which usually occurs when commissioning the compensation has negative impacts on the capacitors.

DÉDICACES

Je m'incline devant le tout puissant qui m'a aidé à retrouver les classes des études à cet Age assez avancé et m'a permis de compléter toutes les obligations du master2.

Je dédie ce modeste travail :

A mon très cher ***père*** *que Dieu ait son âme,*

A ma source d'affectation de courage et d'inspiration, ***ma chère et tendre mère,***

A ***ma petite famille****, surtout* ***Tasnime****, à* ***mes frères*** *et* ***sœurs,***

A ***ma chère tante Khédidja*** *ainsi qu'à toute sa famille,*

A ***toute la famille Bouhraoua*** *et ceux que je porte dans mon cœur,*

A tous mes amis, ***Abdelkader****, les deux* ***Mohammed****,* ***Nacer****,* ***Ghanou, Madani, Achène, Benaissa, Samir, Hocine,***

Bouhraoua Toufik

DÉDICACES

Je dédie ce modeste travail à :

- ***Mes chers parents*** *qui, grâce à eux je sais lire et écrire et notamment ma mère à qui je souhaite une longue vie.*
- ***Ma chers partenaire, mon épouse,*** *qui m'a encouragé et patienté avec moi malgré les charges de vie et que je Souhaite une belle continuation avec elle.*
- ***Mes enfants*** *que je souhaite être un bon exemple pour eux surtout dans ce domaine.*
- ***Mon frère et mes sœurs et leurs enfants.***
- ***Mes amis*** *qui mon encouragé de Se lancer dans une aventure d'étude difficile après tous ces année, notamment Mr.* ***Sahmoune Moussadek****, Mr.****Boujamaa Nourddine.***
- ***Mon*** *collège de P.F.E et D'AGE,* ***Mr. Bouhraoua Toufik****, qui m'a fait confiance est qui j'ai beaucoup appris de lui, surtout dans le domaine pratique, et que je le souhaite* un grand succès dans sa vie.
- ***t****ous nos* ***collègues de M2.ER*** *de saison 2017-2018,*

Aioula Merouane

Sommaire

- ✓ Résumé
- ✓ Remerciement
- ✓ Dédicaces
- ✓ Sommaire
- ✓ Liste des figures
- ✓ Liste des tableaux

I Introduction générale :……..……..……...01

Chapitre I : présentation de l'unité INTRACE

I.1 Introduction :……..……..……..06
I.2 Présentation de l'entreprise INTRACE :…….……...06
I.3 Organigramme de l'entreprise :…….…07
I.4 Fiche technique : …….....07
I.5 Plan de masse : …….....09
I.6 Déférentes sections de l'unité : 10
I.6.1 La section de blé : 10
I.6.2 La section de nettoyage : 11
I.6.3 La section mouture (le broyage) : 11
I.6.4 Le conditionnement : ……..... 12
I.6.5 Laboratoire de contrôle de qualité : 13

Chapitre II : Compensation d'énergie réactive et son régime transitoire

II.1 Introduction :……..…….15
II.2 Les transformateurs : …….……. 15
II.2.1 Transformateur monophasé : ……..... 16
II.2.2 Transformateur triphasé : …..... 16
II.2.3 Principe général de fonctionnement : ……..... 17
II.3 Amélioration de l'efficacité énergétique : 20
II.3.1 Compensation de l'énergie réactive d'une installation : 20

II.3.1.1 Principe de compensation : 21
II.3.1.2 Facteur de puissance : ……..... 21
II.3.1.2.1 Avantage d'amélioration du facteur de puissance : 22
II.3.1.3 Les moyenne de compensation : …….....23
II.3.1.3.1 Les moteurs synchrones : 23
II.3.1.3.2 Les batterie du condensateur : 24
II.3.1.3.3 Différents types de compensation par condensateur : 24
II.3.1.3.4 Principe de la compensation : …….....28
II.3.1.3.5 Détermination de la puissance des batteries : ……..……..29
II .4 Phénomènes transitoires et perturbations : ……31
II .4.1 Régime transitoire d'enclenchement : …….31
II.4.2 Phénomène de résonnance et surcharge harmonique :……..31
II.5 perturbation des réseaux électriques et principe d'amélioration :…….…..34
II.5.1 Introduction : ……...34
II.5.2 généralités sur les harmoniques : ……34
II.5.2.1 les charges non linéaires : ……..35
II.5.2.2 Composante harmonique individuelle (de range h) : ……...35
II.5.2.3 Conséquences des harmoniques : ……...37
II.5.2.4 Distorsion des harmoniques totale (THD) : ……40
II.5.2.4.1 THD en courant ou en tension : ……..40
II.6. Conclusion : ……41

Chapitre III : Partie pratique (mesures et solution proposé)

III.1 Introduction……43
III.2 Présentation des mesures:……...44
III.3 Interprétation des mesures : 44
III.4 Mesures des caractéristiques électriques de la minoterie : …...…….45
III.5 Mesures des caractéristiques électriques de la semoulerie :.……..….50
III.6 Résultats des mesures : ……...54
III.7 Choix de l'armoire de compensation d'énergie réactive :.....54
III.8 Mesures des caractéristiques électriques après le jumelage: 56
III.9 Influence des harmoniques sur les condensateurs ……..61
III.10 Remplacement de l'armoire de compensation d'énergie réactive : ……..62

III.11 Résonance parallèle ou anti-résonance entre les condensateurs et la source :…..64
III.11.1 Caractéristiques techniques des selfs anti- harmonique.....65
III.12 Comparaison entre la nouvelle installation sans compensation et avec compensation :66
III.13 conclusion…….....68
Conclusion générale : **…….....**70
Bibliographie : ……..72
Annexe

Listes de figures

CHAPITRE I

Figure (I.1) : Unité Intrace …… 06

Figure (I.2) : Réception du blé ……..…….10

Figure (I.3) : Les machines utilisées dans la mouture …… 11

Figure (I.4) : Dépôt de stockage ……..…… 12

CHAPITRE II

Figure (II.1) : Transformateur MT/BT…….... 15

Figure (II.2) : Transformateur monophasé ……16

Figure (II.3) : Transformateur triphasé ……..16

Figure (II.4) : Plaque signalétique d'un transformateur triphasé ……19

Figure (II.5) : Implantation individuelle ……25

Figure (II.6) : Implantation Partielle ……26

Figure (II.7) : Implantation globale……27

Figure (II.8) : Schéma de principe de la compensation ……28

Figure (II.9) : Installation électrique sans compensation ……..28

Figure (II.10) : Installation électrique avec compensation ……28

Figure (II.11) : Schéma simplifié d'une installation ……. 32

Figure (II.12) : Schéma équivalent pour analyse harmonique ……..32

Figure (II.13) : Module de l'impédance z en fonction de la fréquence …….33

Figure (II.14) : Circulation des courants harmoniques …….33

Figure (II.15) : Exemples de formes d'onde de courant déformé …….35

Figure (II.16) : Exemple d'un courant contenant des harmoniques et décomposition en rangs harmoniques de rang 1 (fondamental), 3, 5, 7 et 9……...36

CHAPITRE III

Figure (III.1) : Instrument de mesure utilisé «C.A 8336 (QUALISTAR+)»…….……43

Figure (III.1.A) : C.A 8336 (Qualistar+) en cour de mesure …….44

Figure (III.2) : Pherinel courant /Mino ……..45

Figure (III.3) : Pherinel tension /Mino ……..45

Figure (III.4.A) : Tension /Mino ……45

Figure (III.4.B) : Tension /Mino ……45

Figure (III.5) : Courant /Mino ……46

Figure (III.6) : Puissance apparente /Mino ……46

Figure (I.7) : Puissance active /Mino ……47

Figure (I.8.A) : Facteur de puissance /Mino …….47

Figure (I.8.B) : Facteur de puissance /Mino du compteur de distributeur…….47

Figure (III.9) : Puissance réactive /Mino……48

Figure (III.10) : Taux harmonique courant /Mino ……48

Figure (III.11) : Taux harmonique tension /Mino ……48

Figure (III.12) : mesure de tous les paramètres (instantané) /Sem…….49

Figure (III.13) : Pherinel courant /Sem …….50

Figure (III.14) : Pherinel tension / Sem …….50

Figure (III.15) : Tension / Sem ……..50

Figure (III.16) : Courant / Sem ……..51

Figure (III.17) : Puissance apparente / Sem ……..51

Figure (III.18) : Puissance active / Sem ……52

Figure (III.19) : Facteur de puissance / Sem …….52

Figure (III.19.A) : Facteur de puissance / Sem du compteur de distributeur …….52

Figure (III.20) : Puissance réactive / Sem …….53

Figure (III.21) : Taux harmonique courant / Sem …….53

Figure (III.22) : Taux harmonique tension / Sem …….53

Figure (III.23) : Armoire de compensation ……..55

Figure (III.24) : Pherinel courant /Jum ……56

Figure (III.25) : Pherinel tension / Jum ……56

Figure (III.26.A) : Tension / Jum ……..56

Figure (III26.B) : Tension / Jum ……...56

Figure (III.27.A) : Courant / Jum ……..57

Figure (III.27.B) : Courant / Jum ……..57

Figure (III.28) : Puissance apparente / Jum ……..57

Figure (III.29) : Puissance active / Jum ……58

Figure (III.30) : Facteur de puissance / Jum ……..58

Figure (III.31) : Puissance réactive / Jum ……..59

Figure (III.32.A) : Taux harmonique courant / Jum ……..59

Figure (III.32.B) : Taux harmonique courant / Jum ……...59

Figure (III.33) : Taux harmonique tension / Jum ……...60

Figure (III.34) : Taux harmonique tension / Jum V-h05……60

Figure (III.35) : Le rang harmonique Courant fondamental / Jum ……60

Figure (III.36) : Le rang harmonique courant/Jum A-h03 ……..60

Figure (III.37) : Le rang harmonique courant/Jum A-h05 ……61

Figure (III.38) : Le rang harmonique courant/Jum A-h07 ……61

Figure (III.39) : L'armoire de compensation d'énergie réactive avec selfs anti-harmoniques qui a remplace la première armoire de compensation……..62

Figure (III.40) : Constitution d'un gradin avec self anti-harmonique ……63

Figure (III.41) : La self anti-harmonique avec un gradin ……..63

Figure (III.42) : La tension avant ……...66

Figure (III.43): La tension après ……66

Figure (III.44) : La courant avant ……..….66

Figure (III.45) : La courant après ……66

Figure (III.46) : La puissance apparente avant …….67

Figure (III.47) : La puissance apparente après …….67

Figure (III.48) : Le facteur de puissance avant……**…..6**7

Figure (III.49) : Le facteur de puissance après……...67

Figure (III.50) : La puissance réactive avant……..68

Figure (III.51) : La puissance réactive après ……..68

Liste des tableaux

Tableau (III.3) : caractéristique technique des selfs anti-harmoniques (version classique)…65

Tableau (III.4) : caractéristique technique des selfs anti-harmoniques (version renforcée)…65

Introduction générale

La quantité et qualité d'énergie électrique et surtout son coût d'investissement et d'exploitation concerne tous ceux qui travaillent dans le domaine énergétique, qu'ils soient fournisseurs, producteurs ou consommateurs d'électricité. Ces charges, sont devenues un sujet de grand intérêt pour les raisons suivantes :

- Économiques,

  Les perturbations électriques ont un coût très élevé pour les industriels, car elles engendrent des arrêts de production, des pertes de matières premières, une baisse de la qualité de la production, un vieillissement prématuré des équipements, et éventuellement un risque permanent d'incendie, …. etc.
- Sensibilité des équipements,

  La généralisation des équipements sensibles aux perturbations, à savoir l'équipement électroniques et électroniques de puissance, sont devenus une exigence car ils permettent un meilleur contrôle et par conséquent une longévité de la MTBF (Mean Time Between Failure, ou en Français Temps Moyen Entre Pannes).
- Préférence de la qualité de l'énergie,

  La libéralisation du marché de l'électricité fait que la qualité de l'énergie électrique est devenue un des critères de choix d'un fournisseur d'énergie d'une part et les consommateurs de cette énergie d'autre part. Les fournisseurs se doivent donc de fournir à leurs clients une énergie de bonne qualité, et ce dans la mesure de leur possibilité financière.

Le domaine de la quantité d'énergie suffisante pour faire fonctionner un projet ou une usine exige un investissement relativement couteux, à savoir :

- Le cout de l'amenée d'énergie, qui dépend essentiellement de la longueur et de la section des câbles de la ligne par rapport au positionnement de ce projet.
- Le coût des équipements des postes de transformation et de protection qui varie en Algérie du simple pour les petites puissances, au triple voir quatre a cinq fois par rapport à la grande puissance.

Par contre, le domaine de la qualité de l'énergie électrique se caractérise par deux grands axes de recherche : les solutions prophylactiques et curatives d'une part, et la surveillance d'autre part, c'est-à-dire la mesure et l'analyse des perturbations électriques. La surveillance représente l'étape préliminaire dans la recherche de solutions. Elle permet de comprendre l'origine des perturbations, et donc de trouver et choisir la solution la plus appropriée économiquement et

techniquement. Avec la surveillance, on peut détecter beaucoup de problèmes du fait de la forte augmentation des capacités d'enregistrement et de traitement de données, ainsi que des besoins croissants en termes de distinction des sources perturbantes et d'amélioration de la qualité d'énergie électrique qui doit recouvrir les trois notions suivantes:

1-La continuité d'alimentation,

2-La qualité de l'onde de tension,

3-La qualité de service, qui est caractérisée par :

- La continuité d'alimentation qui recouvre les coupures, ou microcoupures subies par les utilisateurs.
- La qualité de l'onde de tension, qui recouvre les perturbations liées à la forme de l'onde de tension délivrée par le réseau.
- La qualité de service qui caractérise la relation entre un utilisateur et son gestionnaire de réseau, ainsi qu'éventuellement son fournisseur (délai de remise en service, délai d'intervention d'urgence, délai de raccordement, notification de coupure programmée, tenue des horaires de rendez-vous, etc.).

Les installations devant fournir l'électricité a des entreprises industrielles sont d'une très grande variété. Il est facile de concevoir qu'une usine utilisée pour la soudure n'aura pas les mêmes besoins qu'une entreprise œuvrant dans l'agro-alimentaire ou dans la fabrication de portes et fenêtres. En effet, les machines et les équipements différent grandement en raison du type d'industrie et des procèdes de fabrication de celles-ci. Deux entreprises du même secteur peuvent avoir des méthodes de production différentes entrainant des besoins différents.

Le but d'une bonne installation, en plus de fournir l'électricité, est d'être de la plus grande fiabilité possible.

Chaque étape de la production dans une entreprise est importante. L'arrêt d'un seul secteur peut entrainer la paralysie complète des opérations. Souvent ces perturbations sont causées par une interruption de l'alimentation électrique.

Les industriels craignent beaucoup plus les conséquences d'un arrêt de la production. Ces conséquences se traduisent souvent par d'importantes pertes de produits ou par des bris de machines qui se traduiront inévitablement par des pertes monétaires.

Afin de minimiser les risques de défaillance, il faudra lors de la conception de l'alimentation d'un site industriel ne rien laisser au hasard, appliquer des procédures strictes et, bien évidemment, tenir compte de la nature de l'industrie et de ses dimensions.

Mais arriver à concevoir une bonne alimentation, basée sur les besoins de l'établissement n'est pas une mince affaire. Il faut le faire dans le respect des normes et de la réglementation tant nationale qu'internationale puisqu'il s'agit d'une installation appelé à être certifiée, sans oublier les exigences du distributeur d'électricité. Viennent aussi s'ajouter les soucis environnementaux.
Ce n'est pas tout. Le distributeur d'énergie, aurait tout intérêt à discuter avec son client des possibilités d'extension futures de l'entreprise. Un investissement un peu plus important au moment crucial qu'est la conception de l'alimentation électrique pourrait représenter de grandes économies que ce soit dans la réalisation de cette extension que dans l'exploitation dans un futur proche.

Dans ce travail purement pratique, on traite la façon d'optimisation de puissance et d'énergie en même temps pour une unité de production (une usine) qui travaille dans le domaine agroalimentaire, juste la quantité de puissance nécessaire pour faire fonctionner l'extension sans toucher le confort d'exploitation de cette industrie ainsi qu'une partie de la qualité d'énergie à savoir l'amélioration du facteur de puissance à savoir le 'cos φ' et les problèmes rencontrés par la suite ; Car d'autres parties plus complexes de cette même qualité dépend du distributeur et même du mode de transport et de distribution d'énergie choisi par notre pays pour des raisons purement économiques et sociales.

L'unité de production au niveau de laquelle nous avons fait ce modeste travail s'appelle **INTRACE** « Industrie de trituration des céréales ». L' activité principale de cette unité comme son nom l'indique, c'est la transformation des céréales que sont les blés durs et les blés tendres. Sa capacité de production est de 800 quintaux par jour de semoule et 1200 quintaux par jour de farine. Elle est alimentée en énergie électrique par deux transformateurs de 630KVA pour chaque unité (la semoulerie et la minoterie) ;
Notre travail a commencé lorsque l'administration de cette entreprise a voulue faire une extension de leur semoulerie en additionnant une autre unité de production de 1500 quintaux par jour, mais il fallait régler deux problèmes :
Le premier problème rencontré c'est que l'un des deux transformateurs était situé dans le terrain qui était destiné pour cette extension,
Le second est qu'il fallait réaliser l'extension sans pour autant interrompre la production des deux unités.
L'administration de Intrace n'avait pas le choix que de démolir le poste de transformation électrique qui gênait la réalisation de cette extension et de construire un nouveau grand poste de

transformation de type B, qui allait coûter cinq fois le prix du poste démoli de type A, en plus de l'arrêt de la production de la semoulerie pour une période de trois mois minimums.

L'objectif de ce mémoire est de présenter la solution que nous leur avons proposé qui est une variante moins couteuse dans l'investissement, plus économique dans l'exploitation (réduction du prix du kilowattheure) sans pour autant interrompre la production des deux unités, ce qui est très important.

Les mesures électriques que nous avons faites par l'analyseur de réseau électrique le CA8336 sur la consommation totale des deux unités, et la consultation des factures de consommation de l'énergie électrique, ont montré qu'il était possible de réaliser cette extension en basculant toute la consommation de la minoterie et de la semoulerie vers un seul transformateur, puisque leur puissance maximale atteinte (PMA) a légèrement dépassé la puissance mise a la disposition (PMD) d'un des deux transformateur, à condition d'améliorer le facteur de puissance vers une valeur supérieur à 0,94et ce , par l'installation d'une armoire de compensation d'énergie réactive a commande automatique.

Or en procédant ainsi, nous avons remarqué que la mise en service de

L'armoire de compensation d'énergie réactive a déclenché un phénomène transitoire très dangereux pour les installations électriques qui est le phénomène de résonance, rendant l'installation électrique fonctionnent à un taux élevé d'harmonique supérieur à 30%, ce qui nous a obligé de revoir le choix de type de la batterie de compensation par l'injection des selfs pour protéger les condensateurs contre ce phénomène de résonance.

Nous avons partagé notre travail en trois chapitres distincts ;

Introduction général,

Chapitre I : Présentation du lieu objet de ce travail qui est l'unité Intrace.

Chapitre II : qui est consacré a la partie théorie des équipements clé de ce travail, et qui sont les transformateurs, la compensation d'énergie réactive et les régimes transitoires qui sont survenu après la mise en service de l'armoire de compensation.

Chapitre III : consacré dans sa totalité a la partie pratique de ce modeste travail, où nous avons exposé toutes les mesures faites et ce avant, au cours, et après la réalisation du projet.

- ✓ Conclusion.
- ✓ Annexe

I.1 Introduction

La minoterie industrielle se trouve en position centrale entre la production agricole et les utilisateurs (industriels ou consommateurs). Elle assure la valorisation des céréales et fournit l'aliment de base a la majorité de la population algérienne.

On entend par minoterie industrielle une installation de mouture qui procède a l'écrasement des céréales en vue de la commercialisation des produits en résultat.

La minoterie transforme de blé tendre en farine, tandis que le blé dur est transformé en semoule par la semoulerie.

I.2 Présentation de l'entreprise Intrace :

L'entreprise INTRACE « Les moulins Intrace» de Bouismail est une unité de production de produits céréaliers. C'est une semoulerie minoterie, bâtie en 1997, qui a été équipée par la firme suisse BUHLER, et mise en route en 1999. L'entreprise compte actuellement plus de

60 travailleurs répartis comme suit :



Fig –I.1- unité Intrace

L'entreprise INTRACE « Les moulins Intrace» de Bouismail est une unité de production de produits céréaliers. C'est une semoulerie minoterie, bâtie en 1997, qui a été équipée par la firme suisse BUHLER, et mise en route en 1999. L'entreprise compte actuellement plus de

60 travailleurs répartis comme suit :

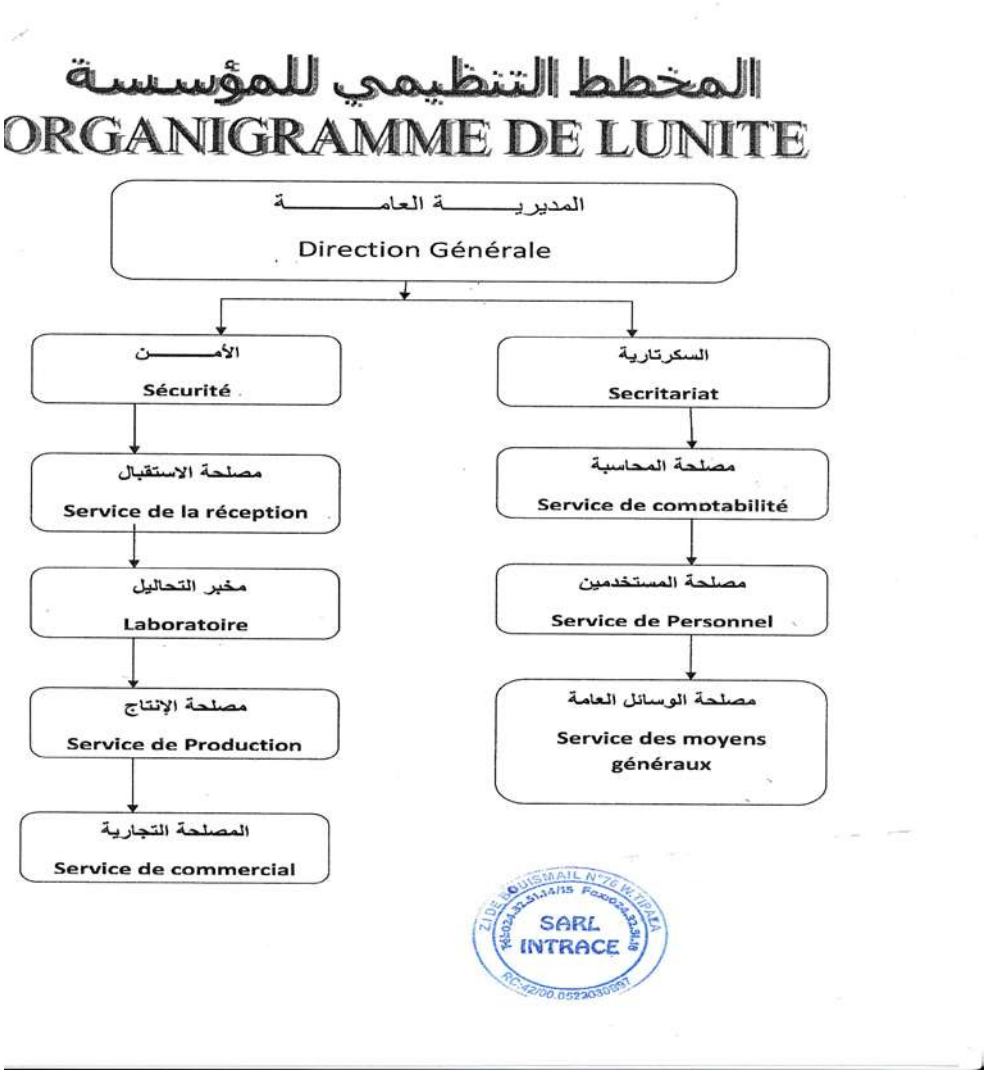
15% de cadres supérieurs (Dipl. universitaire ou équivalent).

20% de cadres moyens (de maîtrise)

65% du personnel d'exécution.

Ceux-ci travaillent en service permanent. Il faut y ajouter une dizaine de contractuels pour les besoins en matière de services temporaires.

I .3 Organigramme de l'entreprise Intrace



Les Moulins **INTRACE** est un établissement à caractère économique et commerciale, Implantée dans la zone industrielle de la ville de Bouis mail willaya de Tipaza, à 50 Km à l'ouest d'Alger, elle constitue l'un des plus importants complexes industriels de la willaya de Tipaza.

La société de INTRACE a été construits en 1997 par une société « Buller SUISSE » pour une capacité de trituration initiale de 120 tonnes par jour **blé tendre**, et 80 tonnes **blé dur** les Moulins de Intrace se sont engagés sur la voie de la modernisation, à travers :

- Une mise à niveau technologique caractérisée par une rénovation des équipements et l'introduction progressive de système de conduite automatisée.
- Une mise à niveau managériale caractérisée par un programme de formation ambitieux.

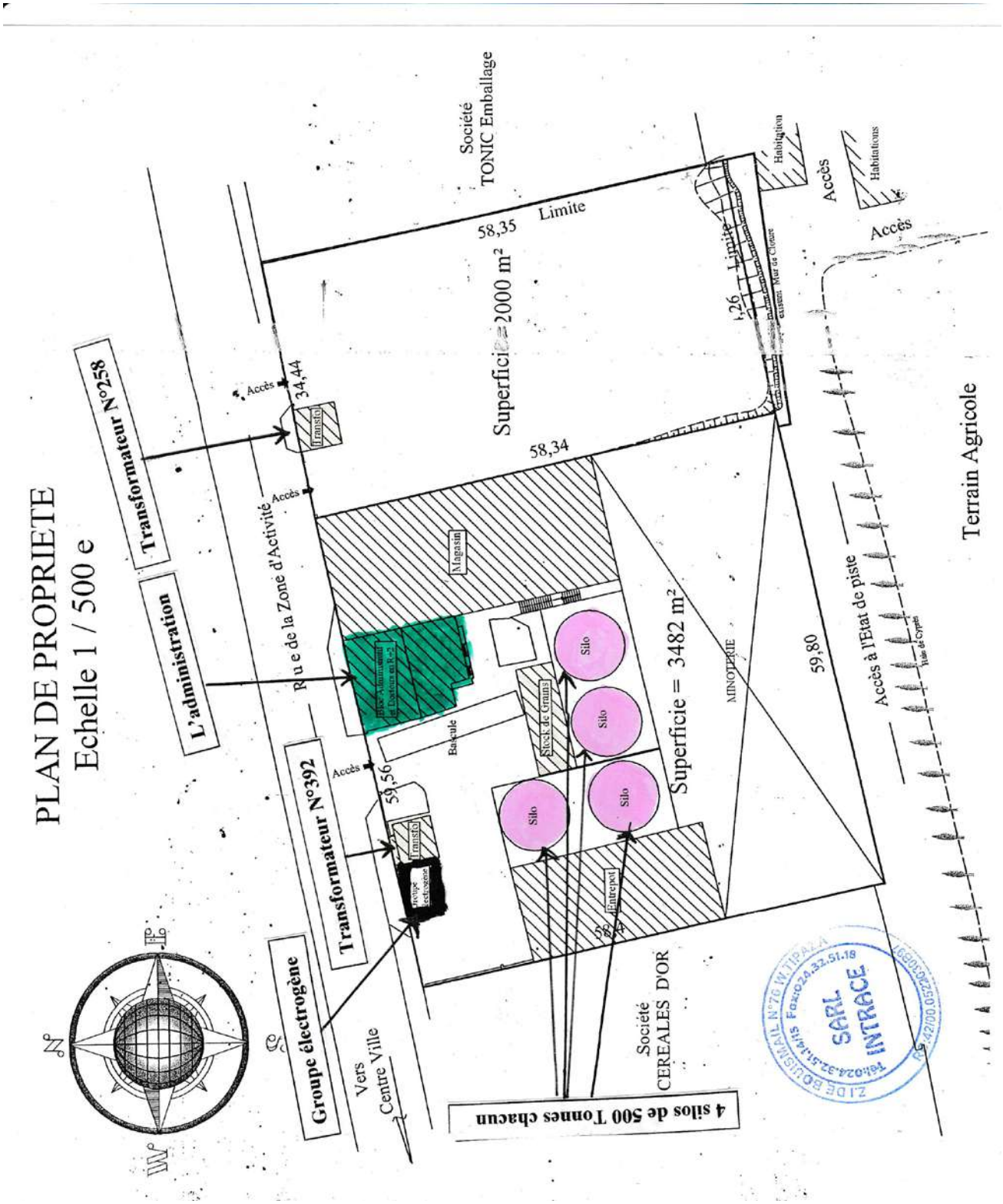
I.4 Fiche technique

- Siège Sociale : Zone Industrielle Bouismail.
- Activités Principales : Transformation De Céréales –Blés Durs Et Blés Tendres.
- Principaux Produits :

  Semoules – Farines

  - Semoulerie : 800 Qx / j
  - Minoterie : 1 200 Qx / j
- Capacité de Production :
- Capacité de Stockage : matière première 2000tonnes
- Capacité de stockage Produit fini 120tonnes
- Surface : 5300 m^2 (dont 2 500 m^2 construits).
- Effectifs : 60
- Equipement : BUHLLER – Technopole.
- Observations Particulières :
- Date de Mise en Service :1 er octobre 1999
- Semoulerie : fév. 2001 – 800 Qx / j.
- Minoterie : 1999 – 1 200 Qx / j.

I.5 Plan de masse de l'entreprise INTRACE



I.6 Différentes sections de l'unité

I. 6. 1 La section réception du blé

C'est l'endroit ou la matière première a savoir le blé dur et tendre est réceptionnée en passant par :

- un pont bascule de 60 tonnes ;
- Deux trémies l'une pour le blé dur et l'autre pour le blé tendre ;
- élévateurs (un moyen de transport de blé) ;
- 04 silos de stockage de capacité de 500 Tonnes chacun ;

Cette étape possède une vingtaine de moteurs électriques de puissances de 0,75 à 7,5KW.



Fig - I.2 - réception du blé

I.6.2 La section nettoyage

En arrivant au moulin, le blé contient des débris de terre, de paille, des poussières, des enveloppes vides et d'autres graines. Il passe donc dans plusieurs machines (aspirateurs, tamis, trieurs…) qui éliminent tout ce qui n'est pas un grain de blé et qui influent sur la qualité et le rendement du produit. Certains moulins le lavent parfois à l'eau. Le blé passe ensuite par le mouillage pour ramener son humidité a la valeur 16% environ.

Après le mouillage, le blé doit reposer dans 10 silos pour le blé tendre pour une période de 16 a 72heures, et 4 silos pour le blé dur pour une période de 10 heures environs.

Cette étape contient une quinzaine de moteurs électriques pour chaque type de blé de puissances de 0,12 a15KW.

I.6.3 La section mouture (le broyage)

Cette opération consiste à détacher les enveloppes des amandes des grains de blé et à réduire ces amandes en farine.

Pour cela, les grains passent entre de gros cylindres métalliques cannelés qui ont remplacé les meules d'autrefois. L'opération est répétée 4 ou 5 fois, entre des cylindres de plus en plus rapprochés. À chaque broyage, des tamis perfectionnés séparent et classent les produits obtenus

Selon leur grosseur.



Fig - I.3- les machines utilisées dans la mouture

Les semoules obtenues après la première étape sont plus ou moins fines et plus ou moins lourdes. Elles vont passer entre 2 et 6 fois sur des tamis très fins qui bougent très vite : les sasseurs. Les semoules les plus lourdes tombent, les plus légères sont aspirées par un courant d'air qui souffle en permanence dans les sasseurs , puis mouture réduit les semoules en particules de plus en plus fines pour obtenir de la farine. Elles vont passer 4 ou 5 fois dans des cylindres lisses c'est le claquage.

Le cœur de la minoterie (la mouture) possède une soixantaine de moteurs de puissance allant de 0,12 à 37KW, tandis que la semoulerie contient 51 moteurs de puissances de 0,4 à 45KW.

I.6.4 Le conditionnement

Les semoules de l'opération précédente sont, pour finir, passées 6 ou 7 fois dans d'autres cylindres lisses. La farine pour faire le pain est presque prête !



Fig - I.4- dépôt de stockage

La farine obtenue après toutes ces étapes est passée au tamis (cela s'appelle le blutage), dans une mélangeuse, puis elle est stockée pour être commercialisé en grand sacs de 50kg pour les boulangers ou en petits sacs.

- La farine : des sacs 25Kg, 10Kg ,5Kg, 2Kg, 1Kg.
- La semoule : des sacs 25Kg, 10Kg ,5Kg, 2Kg, 1Kg.

Les conditionneuses des différentes produit ainsi que les compresseurs d'air , les pompes a eau ainsi que les écluses filtres sont clases comme installation divers qui contient une trentaine de moteurs électriques de puissances 0,75 a 45KW.

I.6.5 Laboratoire de contrôle de qualité

Le laboratoire est une partie importante dans toute industrie agroalimentaire, le contrôle de qualité de toutes sortes des aliments devient une condition nécessaire dans le marché, qui a pour but de satisfaire les besoins des Clients.

Il est à la fois la mesure d'une caractéristique et sa comparaison avec une base de référence, il dispose de plusieurs appareils permettant le contrôle physico-chimique de la matière première ainsi que le produit fini tel que le taux d'humidité, le gluten, le calcul de la force boulangère,……etc.

II.1 introduction

En basse tension, la compensation de l'énergie réactive est réalisée par l'injection des condensateurs dans l'installation électrique d'une façon directe appelée compensation fixe ou par des batteries de condensateur a régulation automatique, qui ajuste le facteur de puissance d'une façon continue quelque soit la variation de la charge.

ces condensateurs sont d'une puissance unitaire constante et leur mise en œuvre peut être commander par un ou des contacteur aux bornes des récepteurs de type inductif (moteurs et transformateurs), le tous est protéger par un disjoncteur , ou interrupteur d'isolement.

Dans certains cas d'augmentation de puissance de la charge, il est conseiller qu'avant de penser au remplacement du transformateur par un nouveau plus puissant, il est nécessaire de voir le facteur de puissance de l'installation ; car juste l'amélioration de ce facteur de puissance peut répondre a ce besoin.

II.2. les transformateurs

Le transformateur électrique joue le rôle de transformer la tension primaire en une autre au secondaire :

Un transformateur MT/BT : est un transformateur qui transforme la moyenne tension (30KV) en basse tension (400V).

Le transformateur permet de transférer de l'énergie (sous forme alternative) d'une source à une charge, tout en modifiant la valeur de la tension. La tension peut être soit augmentée ou baissée selon l'utilisation voulue. Le changement d'un niveau de tension à un autre se fait par l'effet d'un champ magnétique. Chaque transformateur a ses caractéristiques techniques propres principalement :

Tension d'entrée, Tension de sortie (rapport de transformation), Courant d'entrée, Courant de sortie, Tension de court-circuit, couplage et indice horaire.

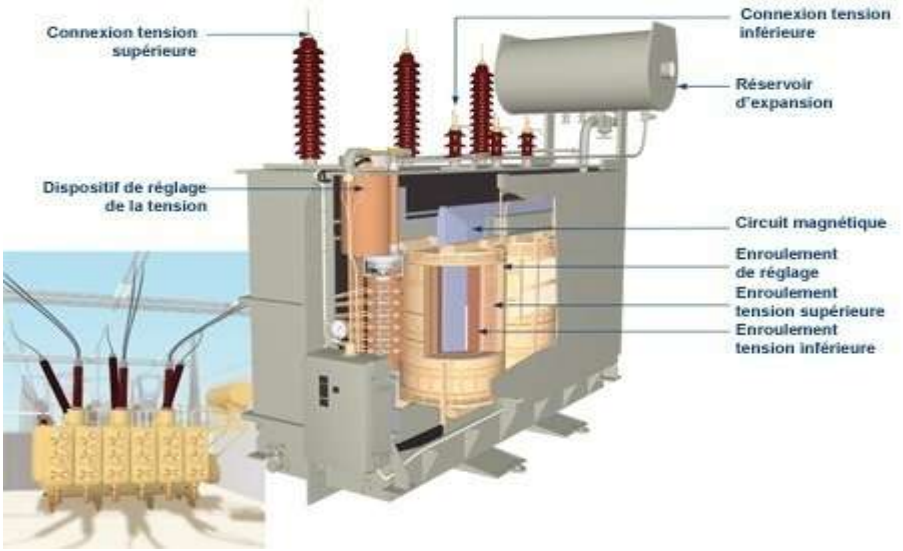


Figure -II-1- : Transformateur MT/BT

II.2.1. Transformateur monophasé

D'une manière simplifiée, un transformateur est composé d'un noyau magnétique (acier doux au silicium) sur lequel sont disposés deux enroulements en cuivre : l'enroulement branché sur la source d'énergie est le "primaire" et l'enroulement branché vers les récepteurs est le "secondaire".

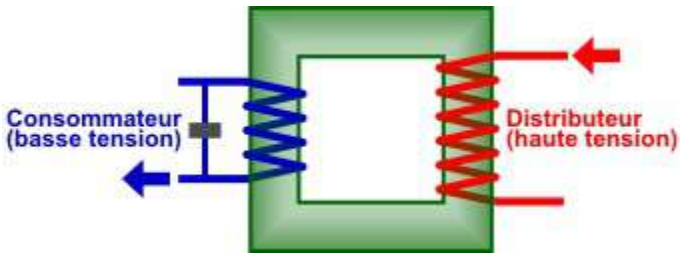


Figure -II-2- Transformateur monophasé.

II.2.2. Transformateur triphasé

Un transformateur triphasé est composé d'un noyau à trois branches sur lesquelles sont combinés les enroulements primaires et secondaires, de façon concentrique ou alternée.

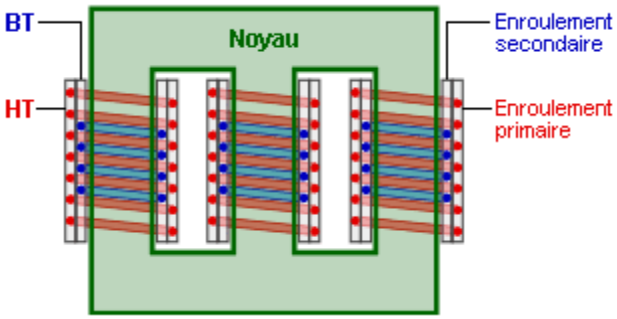


Figure -II- 3- Transformateur triphasé.

Les deux enroulements ont un nombre de spires (tours) différents : le plus grand est l'enroulement "moyenne tension (MT)" et le plus petit, l'enroulement "basse tension (BT)".

II.2.3 Principe général de fonctionnement

Le courant alternatif qui circule dans l'enroulement primaire génère un flux magnétique variable dans le noyau.

Cette variation de flux induit dans le secondaire un autre courant, si le circuit secondaire n'est pas raccordé à un récepteur, y induit une tension.

- On dit que le transformateur est à vide quand le circuit secondaire est ouvert. Il ne débite alors aucun courant. L'enroulement primaire se comporte dans ce cas comme une self en courant alternatif, une simple inductance qui s'oppose au passage du courant.
- On dit que Le transformateur fonctionne en charge quand un récepteur est raccordé à sa sortie. Le courant débité par le secondaire crée alors un champ magnétique opposé au champ produit par le primaire. Il ya une augmentation du courant dans le primaire et en fin de compte il y a égalité quasi parfaite entre la puissance que génère le secondaire et la puissance consommée par l'enroulement primaire.

Il y a bien quelques pertes entre la puissance que consomme l'enroulement primaire et celle qui sort du secondaire mais, quand les deux puissances sont égaux, on peut dire que : Les transformateurs ont un très bon rendement, de l'ordre de 99%.

Les pertes d'un transformateur se composent des pertes à vide et des pertes en charge.

- Les pertes à vide (ou pertes "fer") se produisent au sein du noyau ferromagnétique. Elles sont constantes quel que soit le régime de charge du transformateur.
- Les pertes en charge (ou pertes "en court-circuit" ou pertes "cuivre") sont, elles, dues à l'effet Joule (perte par échauffement des fils ou feuillards parcourus par un courant),

On exprime donc les pertes totales d'un transformateur par :

$$W = W_{fe} + W_{cu} \times (S/S_n)^2 \quad \text{(II.1)}$$

Où :

W = pertes totales du transformateur en charge réelle [W]

W_{fe} = pertes fer (constantes) [W]

W_{cu} = pertes en court-circuit à la charge nominale [W]

S_n = puissance nominale du transformateur [VA]

S = charge appliquée aux bornes [VA]

Les flux magnétiques produit par les courants primaires et secondaires s'annulent.

Le flux généré par une bobine étant proportionnel au courant et au nombre de spires.

Le bilan énergétique des transformateurs parmi les plus importantes étapes du diagnostic énergétique des installations électriques.

Le bilan a pour objectif de mettre en relief les pertes engendrées lors du fonctionnement de ces transformateurs.

Ces pertes peuvent être plus ou moins élevées selon la charge.

le facteur de puissance des installations alimentées par ces transformateurs.

les caractéristiques des transformateurs ainsi que leurs modes d'exploitation.

Le calcul des taux d'utilisation de charge pour un transformateur est déduit de la formule suivante :

$$\text{Taux d'utilisation} = (S/Sn) \times 100\ (\%) \quad \text{(II.2)}$$

Tel que : S et Sn sont, respectivement, la puissance apparente utilisée et la puissance apparente du transformateur.

Le fonctionnement d'un transformateur à charge réduite diminue son rendement et engendre un mauvais facteur de puissance (Cosφ).

la plaque signalétique de transformateur MT/BT de marque ENEL :



Figure -II-3.A- plaque signalétique d'un transformateur triphasé.

II.3. Amélioration de l'efficacité énergétique

Toute machine électrique utilisant le courant alternatif (moteur, transformateur lampes, poste à souder ...) met en jeu deux formes d'énergie : l'énergie active et l'énergie réactive.
L'énergie active consommée (kWh) résulte de la puissance active P (kW) des récepteurs. Elle se transforme intégralement en puissance mécanique (travail) et en chaleur (pertes).
L'énergie réactive consommée (kvarh) sert à l'alimentation des circuits magnétiques des machines électriques. Elle correspond à la puissance réactive Q (kvar) des récepteurs.
L'énergie apparente (kVAh) est la somme vectorielle des deux énergies précédentes. Elle correspond à la puissance apparente S (kVA) des récepteurs, somme vectorielle de P(kW) et Q(kvar).

La puissance apparente : $S = U.I$ (kVA), (II.3)

La puissance active : $P = U.I.\cos\varphi$ (kW), (II.4)

La puissance réactive : $Q = U.I.\sin\varphi$ (kvar). (II.5)

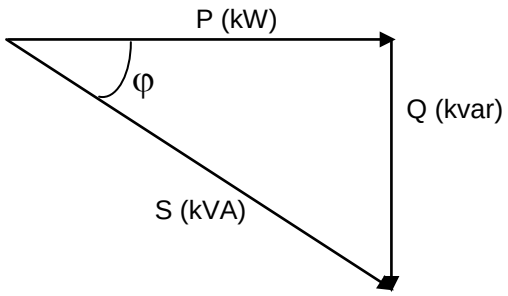


Figure -II-4- Composition vectorielle des puissances

II.3.1. Compensation de l'énergie réactive d'une installation

Les particuliers qui ceux chargé de l'exploitation des réseaux électrique pose toujours la question : Pourquoi compenser l'énergie réactive ? Comment réaliser cette compensation ? Quel est l'emplacement efficace ? Quel type de compensation ?

Qui est le mieux adapté à un problème bien déterminé ? Et quel sont les avantages et les inconvénients de cette compensation ?

pourquoi compenser l'énergie réactive ?

L'objectif de la compensation d'énergie réactive est de réduire le courant appelé sur la source d'énergie qui est en générale le transformateur.

Pour limiter les courants en ligne et donc l'énergie réactive absorbée par l'installation, on doit donc installer des sources d'énergie réactive locales en parallèle a l'installation : On appelle cette technique " Compensation de l'énergie réactive ".

II.3.1.1 principe de compensation

La circulation de l'énergie réactive sur les réseaux de distribution entraîne, du fait d'un courant appelé plus important : Des surcharges au niveau des transformateurs, L'échauffement des câbles d'alimentation, Des pertes supplémentaires, Des chutes de tension importantes.

Pour ces raisons, il est nécessaire de produire l'énergie réactive au plus près possible des charges, pour éviter qu'elle ne soit appelée sur le réseau, c'est ce qu'on appelle "compensation de l'énergie réactive".

II.3.1.2 Facteur de puissance

Le facteur de puissance **(cos φ)** est une mesure de l'efficacité avec le système électrique convertit le courant électrique fourni par le fournisseur d'électricité en une puissance de sortie utile.

Le facteur de puissance est indiqué sur la facture d'énergie électrique de tous les clients possédant un poste de transformation électrique quel que soit sa puissance , lorsque qu'il est faible, cela signifie que l'entreprise n'utilise pas correctement l'électricité, ce qui se traduit par des pénalités imposée par le distributeur sur la facture d'énergie électrique de l'entreprise dans la rubrique Majoration, mais il possible d'améliorer (corriger) ce facteur pour avantage de réduction des factures d'électricité dans la rubrique Bonification, augmentation de la capacité du système, amélioration des conditions de tension.

Le facteur de puissance est un indicateur de qualité de la conception d'une installation électrique. Il repose sur deux notions très basiques : la puissance active et apparente.

Le facteur de puissance FP **(cos φ)** est égal par définition à : **cos φ =** $\frac{P}{S}$ (II.6)

Un facteur de puissance proche de 1 optimise le fonctionnement d'une installation.

Il est possible d'exprimer la **(tgφ)** avec la relation : tgφ = $\frac{Q}{P}$ (II.7)

La valeur la plus faible de **tg φ** optimise l'installation.

II.3.1.2.1 Avantages d'amélioration du facteur de puissance

L'amélioration du facteur de puissance d'une installation présente de multiples avantages d'ordre économique et technique et permet de réduire la facture d'électricité.

Diminution de la facture d'électricité, Une bonne gestion de la consommation d'énergie réactive apporte de réels gains économiques.

L'installation de batteries de condensateurs pour améliorer le facteur de puissance de l'installation permet de réduire la facture d'électricité en maintenant le niveau de la consommation de puissance réactive en dessous d'une valeur définie contractuellement avec le fournisseur d'énergie. Dans cette tarification particulière, l'énergie réactive est payée suivant la valeur du critère **tgφ**.

Comme indiqué précédemment, le distributeur d'énergie en Algérie fournit l'énergie réactive gratuitement si :

- **le tgφ** est inférieur à **0,5.**
- Le tgφ égale à 0,5 correspond à un facteur de puissance de 0,8944.

En regard du gain économique dû à la diminution de sa facture, l'exploitant doit installer des condensateurs de compensation équipés d'appareils de commande, équipement de régulation automatique (si différents niveaux de compensation sont nécessaires).

✓ **Diminution de la section des câbles**

La réduction de la consommation d'énergie réactive aide à la diminution de la section des câbles.

✓ **Diminution des pertes en ligne**

Les pertes dans les conducteurs sont proportionnelles au carré du courant transporté et sont mesurées par les compteurs d'énergie active (kWh) de l'installation.

✓ **Réduction de la chute de tension**

L'installation de condensateurs de compensation permet de réduire voire éliminer la circulation de courants réactifs (inductifs) dans les conducteurs en amont, et de ce fait réduit ou élimine les chutes de tension.

✓ **Augmentation de la puissance disponible du transformateur** [1]

L'augmentation du facteur de puissance d'une charge induit la diminution du courant fourni par le transformateur d'alimentation et, de ce fait, permet d'alimenter des charges supplémentaires.

Le tableau dans **L'ANNEXE II-4-** montre la puissance active (kW) maximale qui peut débiter un transformateur en pleine charge en fonction du facteur de puissance de l'installation.

Exemple : un transformateur de **630KVA** ne peut débiter plus de 450KW pour un **cos φ** de **0,72**, et peut débiter **605KW a**vec un **cos φ** de **0,96**.

II.3.1.3 Les moyens de compensation

Parmi les sources qui sont capables de produire de l'énergie réactive, ce qui permet de Les utiliser comme des moyens de compensation d'énergie réactive :

✓ Les compensateurs rotatifs : qui sont les moteurs synchrones.

✓ Les compensateurs statiques : qui sont les batteries de condensateurs

II.3.1.3.1 Les moteurs synchrones [2]

On appelle compensateur synchrone, un moteur synchrone qui tourne à vide et dont la seule fonction est de fournir ou d'absorber de la puissance réactive sur une ligne de transport ou sur un réseau. Pour régulariser la tension d'un réseau, on doit lui fournir une puissance réactive

pendant les heures de pointe. Inversement, pendant les périodes creuses, on doit absorber l'excès de puissance réactive générée par les lignes. Le compensateur synchrone permet de compenser ces fluctuations de puissance réactive en ajustant l'excitation selon les besoins.

Le compensateur agit alors comme une énormes capacitance ou inductance variable dont la

Valeur est réglable en faisant varier le courant d'excitation de son rotor.

II.3.1.3.2 Les batteries des condensateurs [3] [4]

La puissance réactive fournie par la batterie de condensateur est constante quelles que soient les variations du facteur de puissance de la charge et de la consommation d'énergie réactive de l'installation.

Elles permettent d'améliorer le facteur de puissance d'une installation électrique en la dotant par une grande partie d'énergie réactive qu'elle consomme.

Le condensateur est un récepteur constitué de deux parties conductrices (électrodes) séparées par un isolant. Ce récepteur a la propriété lorsqu'il est soumis à une tension sinusoïdale de déphaser son intensité, donc sa puissance (réactive capacitive), de 90° en avant sur la tension.

On dit que les récepteurs inductifs (moteur, transformateur...) consomment de l'énergie réactive alors que, les condensateurs (récepteurs capacitifs), produisent de l'énergie réactive.

Il existe deux modes de compensation :

- ✓ Avec batterie de condensateurs fixe
- ✓ Avec batterie de condensateurs à régulation automatique

Si le dimensionnement en KVAr des condensateurs est y 15 % de la puissance du transformateur, une compensation d'une valeur fixe est Appropriée. Au-delà de 15 % il est conseillé d'installer une batterie de Condensateurs à régulation automatique.

II.3.1.3.2 différents types de compensation par condensateurs

La position des condensateurs dans l'installation indique le mode de compensation choisi qui peut être :

a- individuel (individuellement au niveau d'un récepteur)

b- partiel (sur une ou plusieurs parties de l'installation)

c- global (en tête de l'installation)

a. Compensation individuelle

La batterie est connectée directement aux bornes de la charge inductive (généralement un moteur).

La compensation individuelle est à considérer quand la puissance du moteur est Significative par rapport à la puissance souscrite de l'installation.

Le dimensionnement en KVAr de la batterie de condensateurs est de l'ordre de 25 % de la puissance nominale (kW) du moteur.

Une compensation complémentaire en tête de l'installation (transformateur) peut être aussi économiquement intéressante.

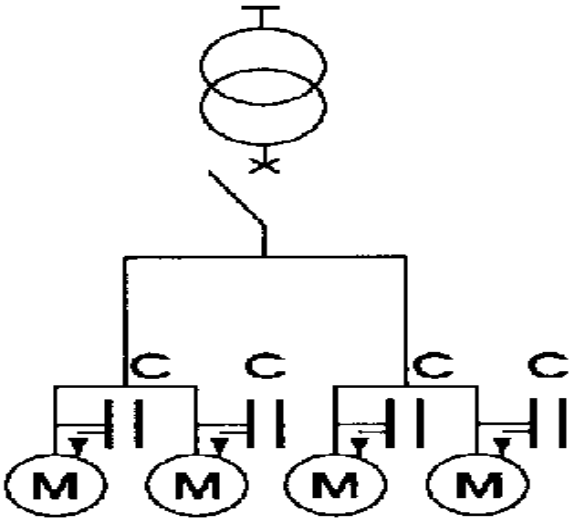


Figure -II-5- Implantation individuelle

La compensation individuelle réduit :

a- les pénalités tarifaires dues à une consommation excessives d'énergie réactive,

b- la puissance apparente consommée (en kVA)

c- la section des câbles et les pertes en ligne.

b. Compensation partielle (par secteur ou par atelier)

La batterie de condensateurs est connectée sur l'arrivée du tableau de distribution Intermédiaire pour lequel la compensation doit être réalisée.

Une économie significative sur l'installation est réalisée grâce à cette disposition, notablement au niveau du dimensionnement des câbles d'arrivée du ou des tableaux intermédiaires pour lesquels la compensation est réalisée.

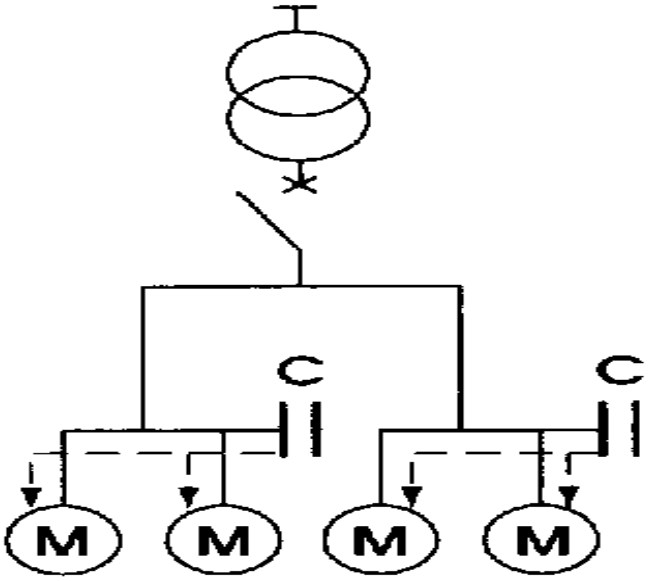


Figure -II-6- Implantation Partielle

La compensation partielle de l'installation :

a- Réduit les pénalités tarifaires dues à une consommation excessive d'énergie réactive.
b- Réduit la puissance apparente d'utilisation (en kVA), calculée habituellement à partir des charges installées.
c- Soulage le transformateur d'alimentation, ce qui permet d'alimenter des charges supplémentaires si nécessaire.
d- Permet de réduire la section des câbles d'arrivée du tableau de distribution intermédiaire, ou d'ajouter des charges supplémentaires.
e- Réduit les pertes en ligne dans ces mêmes câbles.

c. Compensation globale

La batterie est raccordée en tête d'installation BT , elle assure une compensation pour l'ensemble de l'installation. La batterie reste en service en permanence pendant le fonctionnement normal de l'installation.

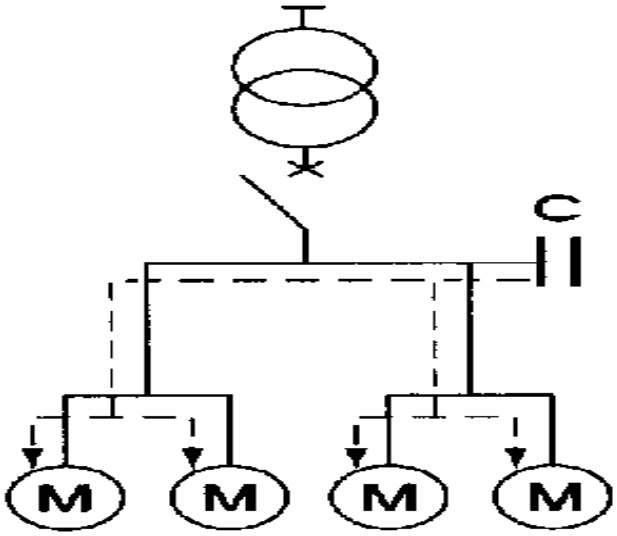


Figure -II-7- Implantation globale

Le foisonnement naturel de l'installation entraîne un dimensionnement faible de la batterie et un nombre élevé d'heures de fonctionnement. Elles sont donc amorties encore plus rapidement.

De plus, ce type de compensation :

a- supprime les facturations complémentaires pour consommation excessive d'énergie Réactive,
b- diminue la puissance apparente (ou appelée) en l'ajustant au besoin réel en kW de l'installation,
c- soulage le poste de transformation (puissance disponible en kW).

II.3.1.3.4 Principe de la compensation

L'installation d'un condensateur générateur d'énergie réactive est un moyen simple et souple pour l'amélioration du facteur de puissance.

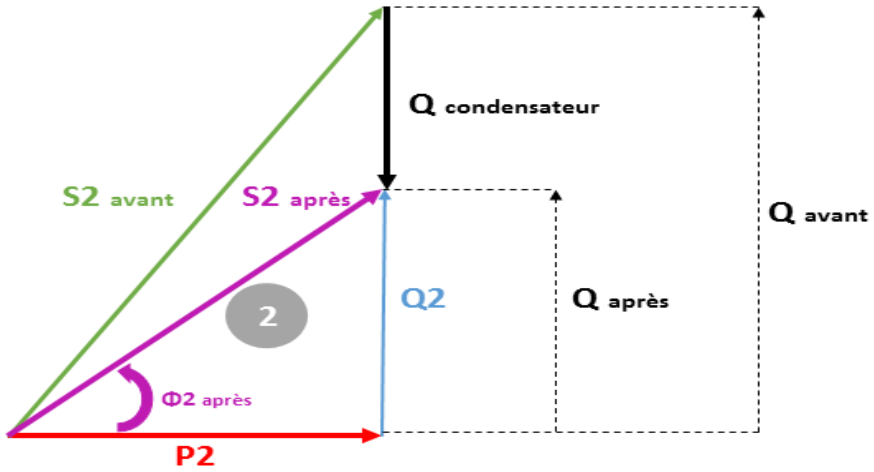


Figure -II-8- Schéma de principe de la compensation

La figure ci-dessus illustre le principe de compensation de la puissance réactive (**Qavant)** d'une installation à une valeur plus faible (**Q après)** par la mise en œuvre d'une batterie de condensateurs de puissance (**Q condensateur)**, dans le même temps la puissance apparente passe de **S2 avant** à **S2 après**.

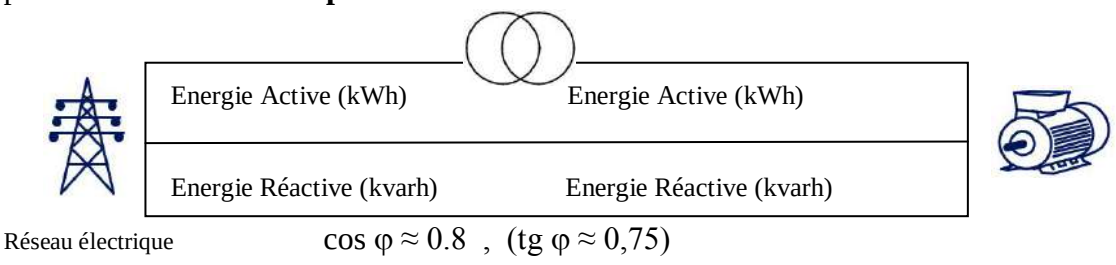


Figure -II-9- installation électrique sans compensation

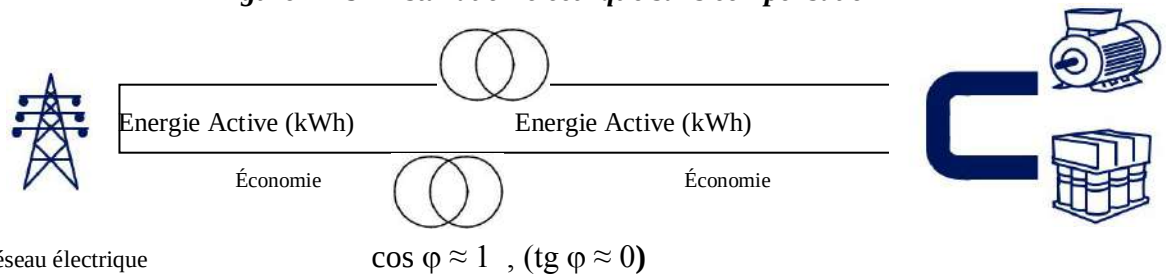


***Figure-II-10*-installation électrique avec compensation**

II.3.1.3.5 Détermination de la puissance des batteries

Il existe plusieurs méthodes pour dimensionner la puissance de la batteries de condensateurs a installer, méthode empirique (par tableaux des constructeurs des batteries), méthode de calcul en utilisant la facture d'électricité, méthode théorique, méthode de mesure directe par analyseur de réseau électrique Qualistar 8336 (voir chapitre III).

- ***Méthode théorique :***

La consommation de l'énergie réactive varie dans le temps du fait des variations de la charge des moteurs, il faut donc estimer la puissance réactive moyenne à fournir Q_C .

$$Q_c = P_a[tg\varphi_1 - tg\varphi_2] \qquad (II.8)$$

Avec : Qc: Puissance de la batterie de condensateurs en kVAR ;

$\mathbf{P_a}$: Puissance active de la charge en KW;

$\mathbf{tg\varphi_1}$: Tangente de l'angle de déphasage de l'installation avant Compensation ;

$\mathbf{tg\varphi_2}$: Tangente de l'angle de déphasage désiré a atteindre.

- ***méthode Amérique (par tableaux des constructeurs des batteries)*** **[5]**

A partir de la puissance d'un récepteur en kW, Le tableau dans **L'ANNEXE II.5** permet de calculer la puissance des condensateurs pour passer d'un facteur de puissance initial à un facteur de puissance désiré. Il donne également la correspondance entre cos φ et tg φ.

Exemple :

Puissance active de l'installation P = 614 kW

Cos φ mesuré de l'installation Cos φ = 0,68 soit Tan φ = 1,08

Cos φ désiré après compensation Cos φ = 0,93 soit Tan φ = 0,40

Le tableau nous donne le coefficient K à appliquer à la Puissance active **p** de l'installation.

Alors : K = 0,684

La Puissance réactive à compenser : $Q_C = p \times k$ (II.09)

$$Qc = 614 \times 0{,}684 = 420 \text{ kVAr}$$

❖ ***méthode de calcul à partir des factures d'électricité***

Calcul Pour le calcul des batteries de condensateurs à installer, procéder selon la méthode suivante :

- Retenir le mois où la facturation est la plus importante (kVArh à facturer)
- Évaluer le nombre d'heures mensuel de fonctionnement de l'installation
- Calculer la puissance condensateur Qc à installer

$$Qc = \frac{\text{kVArh facturer (mensuel)}}{\text{Nbre d'heures fonctionnement (mensuel)}} \qquad \text{(II.10)}$$

Exemple Pour l'abonné :

Facturation énergie réactive la plus importante : mois de décembre

Nombre de kVArh à facturer : 70 000

Horaires de fonctionnement mensuel : heures pleines + pointes = 350 heures

$$Qc = \frac{70\,000}{350} = 200 \text{ kVAr}$$

II .4 Phénomènes transitoires et perturbations

L'utilisation de condensateurs s'accompagne de différents régimes transitoires et de perturbations :

- courant d'appel important et forte surtension à l'enclenchement des condensateurs,
- Phénomène de résonnance et surcharge harmonique

II .4.1 Régime transitoire d'enclenchement [6]

L'enclenchement d'une batterie de condensateurs est accompagné d'un régime transitoire en courant et en tension. Une surintensité et une surtension apparaissent, dont l'amplitude et la fréquence dépendent des caractéristiques du réseau amont et des batteries de condensateurs.
A certaines fréquences il y a résonance entre la batterie de condensateurs et la réactance du réseau vue des bornes de la batterie. Il en résulte une amplification plus ou moins amortie des grandeurs harmoniques (courants et tensions), si le rang de la résonance est le même que celui d'un des courants injectés par le pollueur. Cette pollution peut être dangereuse pour les équipements.

Il y a donc un problème, Que sont ces résonances ? et pourquoi peuvent-elles provoquer une pollution harmonique dangereuse ?

II.4.2 Phénomène de résonnance et surcharge harmonique. [7]

Le phénomène de résonance est l'origine des plus importantes distorsions harmoniques dans les réseaux de distribution, et la cause majeure de surcharges des condensateurs de compensation qui sont extrêmement sensibles du fait que leur impédance décroît proportionnellement avec le rang des harmoniques présents .
La résonance est un phénomène selon lequel certains systèmes physiques (électriques, mécaniques...) sont sensibles à certaines fréquences. Un système résonant peut accumuler une énergie, si celle-ci est appliquée sous forme périodique, et proche d'une fréquence dite « fréquence de résonance ».
Considérons le schéma simplifié suivant, représentant une installation comprenant :

- un transformateur d'alimentation,
- des charges linéaires,
- des charges non linéaires génératrices de courants harmoniques,
- des condensateurs de compensation.

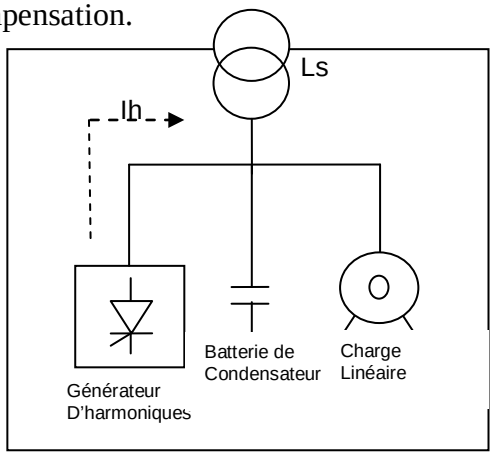


Figure -II-11- Schéma simplifié d'une installation

Pour une analyse harmonique, le schéma équivalent est le suivant

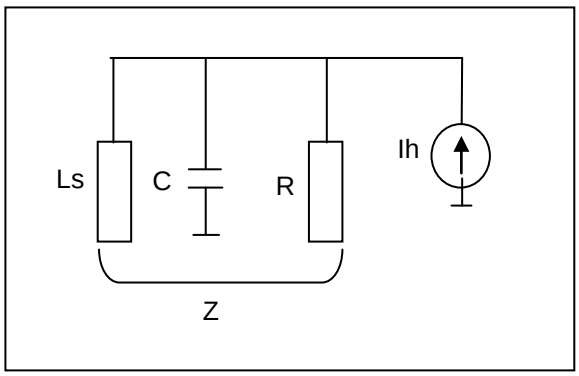


Figure -II-12- Schéma équivalent pour analyse harmonique

Ls : inductance de l'alimentation (réseau + transfo + ligne),

C : capacité de compensation,

R : résistance des charges linéaires,

Ih : générateurs d'harmoniques.

Le module de l'impédance vue par les courants harmoniques est représenté sur la figure ci-dessous :

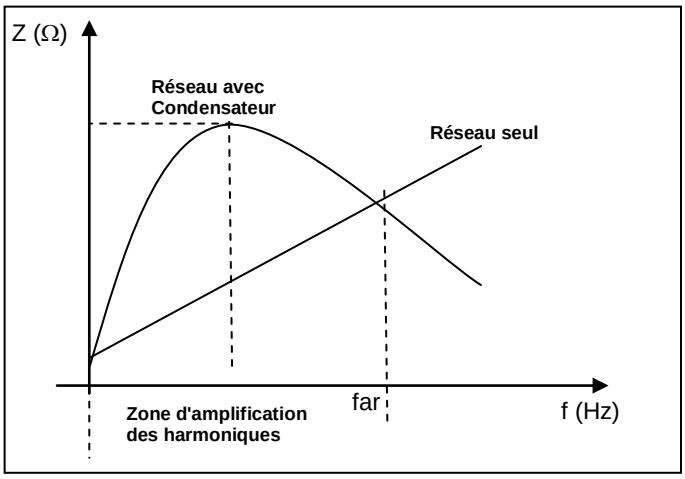


Figure -II-13- module de l'impédance z en fonction de la fréquence

la fréquence far est la fréquence d'accord du circuit (ls + C), à la fréquence far, le module de l.impédance du réseau vu par les harmoniques est maximal. Il y a donc apparition de tensions harmoniques importantes, et donc une forte distorsion de tension, dans la zone d'amplification des harmoniques il y a dans le circuit (ls + C) circulation de courants harmoniques supérieurs aux courants harmoniques injectés.

Le schéma suivant montre les éléments du circuit affectés par les courants Harmoniques

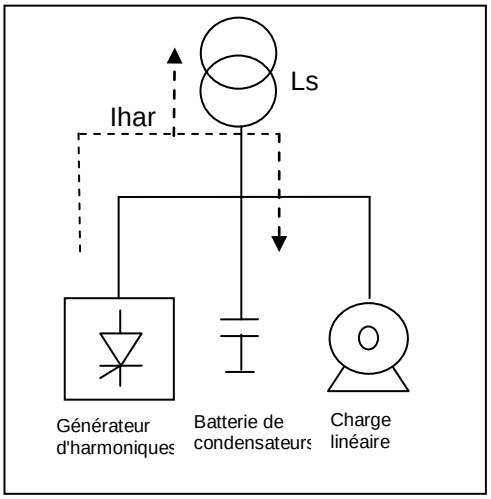


Figure -II-14- Circulation des courants harmoniques

Le réseau d'alimentation ainsi que les condensateurs de compensation sont soumis à des courants harmoniques importants et donc à des risques de surcharge.

II.5 perturbation des réseaux électriques et principe d'amélioration

II.5.1 Introduction

On sait que l'électronique de puissance a joué un grand rôle dans le domaine industriel au cour des dernière années, elle est arrivée sur le marché sou forme de composants tels (les thyristors, transistor, ect….) est qui en permis le développement et la conversion de l'énergie électrique d'une forme à une autre.

L'énergie électrique principalement produite et distribuée sous forme de tensions triphasées sinusoïdales, permet de fournir la puissance électrique nécessaire aux différentes charges sur le réseau électrique. Lorsque la forme d'onde de la tension n'est plus sinusoïdale, on rencontre des perturbations qui peuvent affecter le bon fonctionnement de nombreux équipements et de charges raccordés sur le réseau. Dans ces conditions, des problèmes de compatibilité électromagnétique peuvent survenir entre ces éléments connectés au réseau.

L'utilisation des équipements de l'électronique de puissance sur les réseaux électriques contribue à la détérioration de la tension d'alimentation, ces charges sont non linéaires et appellent du réseau électrique un courant non sinusoïdal possédant un contenu harmonique.

Ces courants harmoniques circulant à travers les impédances du réseau peuvent, lorsqu'ils sont importants en amplitude, créer des tensions harmoniques et ainsi perturber le fonctionnement des autres équipements branchés au point commun de raccordement.

II.5.2 généralités sur les harmoniques [8]

La présence d'harmoniques dans les systèmes électriques signifie que le courant et la tension sont déformés et s'écartent de formes d'ondes sinusoïdales.

Les courants harmoniques sont causés par des charges non linéaires connectées au système de distribution, Sur la Figure sont représentées des ondes de courant pour des charges non linéaires monophasées (en haut) et triphasées (en bas).

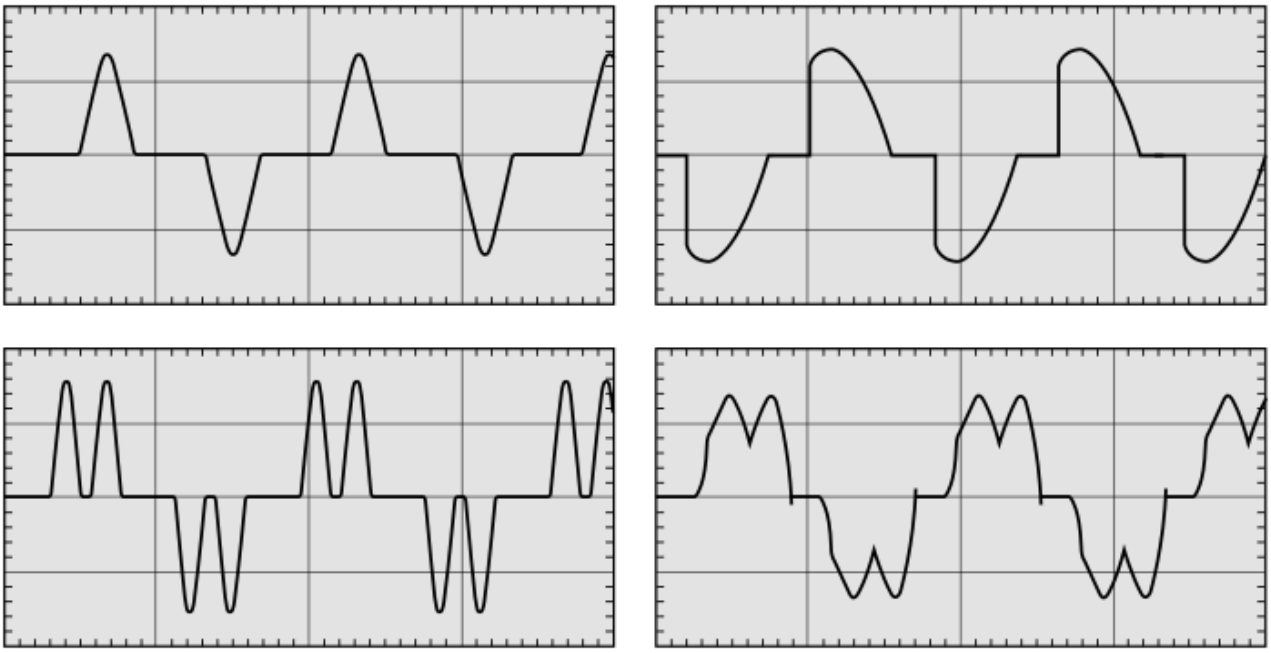


Figure -II-15- Exemples de formes d'onde de courant déformé

II.5.2.1 les charges non linéaires

Les équipements dont des dispositifs électroniques d'alimentation sont la principale cause des harmoniques. Pour alimenter les composants électroniques en courant continu, l'équipement dispose d'une alimentation à découpage avec un redresseur à l'entrée qui génère des courants harmoniques. Il s'agit, par exemple, d'ordinateurs, de variateurs de vitesse, etc.

Les autres charges causent une distorsion du courant à cause de leur mode de fonctionnement et génèrent aussi des harmoniques.

Il s'agit, par exemple, des lampes fluorescentes, des lampes à décharge, des machines à souder et des dispositifs comportant un cœur magnétique qui peut être saturé.

Toutes les charges qui provoquent une distorsion du courant sinusoïdal normal créent des harmoniques, et sont appelées des charges non linéaires.

II.5.2.2 Composante harmonique individuelle (de range h)

L'harmonique de rang h (communément appelé "harmonique h") d'un signal est la composante sinusoïdale dont la fréquence est h fois la fréquence fondamentale.

L'équation de la décomposition harmonique d'une fonction périodique y(t) est présentée comme suite :

$$y(t) = y_0 + \sum_{h=1}^{h=\infty} y_h \sqrt{2} \sin(hwt - \varphi_h) \quad \text{(II.11)}$$

- y_0 : valeur de la composante ne continue généralement nulle.
- y_h : valeur efficace de l'harmonique de rang h,
- w : vitesse angulaire de la fréquence fondamentale,
- φ_h : phase de la composante harmonique à t = 0.

La Figure - III.20 - représente un exemple d'une onde de courant affectée par la distorsion harmonique sur un système de distribution électrique à 50 Hz. Le signal déformé est la somme de composantes harmoniques superposées :

La valeur de la fréquence fondamentale (ou harmonique de rang 1) est de 50 Hz,

L'harmonique de rang 3 a une fréquence de 150 Hz, etc. …

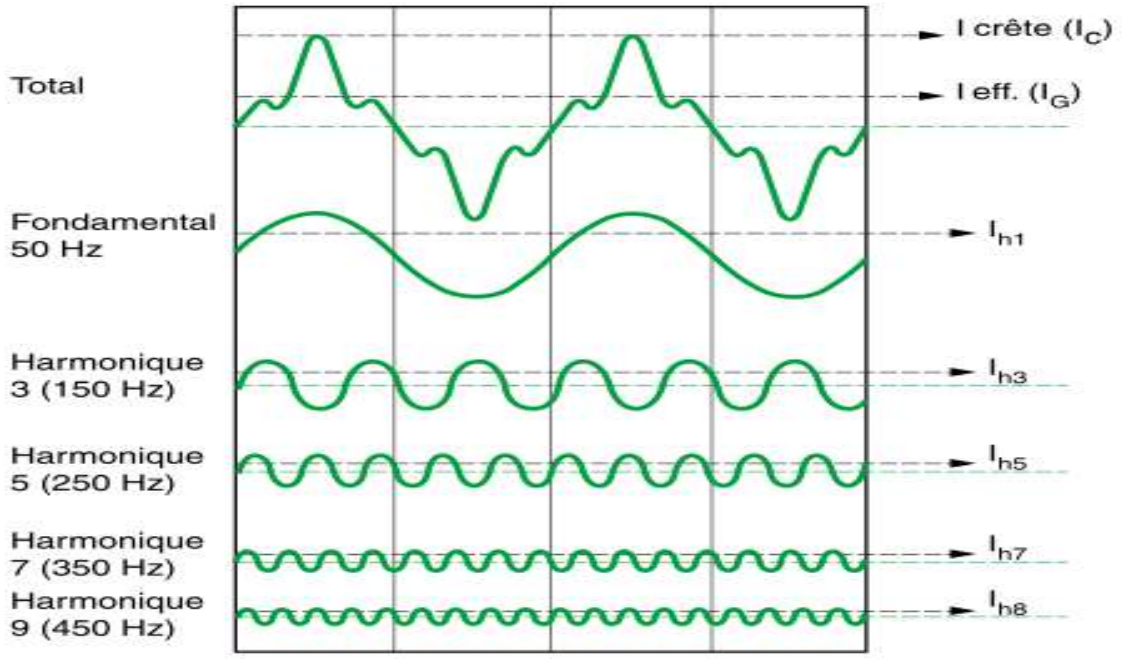


Figure -II-20- Exemple d'un courant contenant des harmoniques et décomposition en rangs harmoniques de rang 1 (fondamental), 3, 5, 7 et 9

La composante harmonique individuelle est définie comme étant le pourcentage d'harmoniques de rang h par rapport à la composante fondamentale.

Notamment : pour les harmoniques de tension $u_h(\%) = 100 \frac{U_h}{U_1}$ (II.12)

: Pour les harmoniques de courant $i_h(\%) = 100 \frac{I_h}{I_1}$ (II.13)

II.5.2.3 Conséquences des harmoniques

- ***Perturbation***

les caractéristique non linéaires des nombreuses industrielles et commerciales telles que les convertisseurs de puissance, les lampes fluorescentes, les ordinateurs, les gradateurs d'éclairage et les mécanismes d'entrainements à vitesse variable utilisé avec les pompes industrielles, les ventilateurs, les compresseurs de climatisations font que la distorsion des harmoniques est un phénomène courant dans les réseaux électriques .Par ailleurs, les grands convertisseurs industriels et les mécanismes d'entrainement à vitesse variable peuvent générer d'importants niveaux de distorsion au point commun de couplage lorsque d'autre utilisateurs sont connectés au réseau.

Sans une protection appropriée, ces harmoniques peuvent affecter d'autre parties de l'usine et même les réseaux.

La distorsion des harmoniques peut augmenter la tenions et le courant dans les systèmes électriques, ce qui peut entrainer la surchauffe. Cette cause de la réduction de facteur de puissance de système, provoque la dégradation du matériel ainsi que d'éventuelles pénalités sur les factures électricité chaque mois. Provoquer des pertes dans le noyau des moteurs et des défaillances dans l'équipement, réduire la durée de vie des équipements.

- ***Impact économique important***

Toutes ces perturbations ont un impact économique :

- le vieillissement prématuré d'un équipement signifie qu'il doit être remplacé plus tôt, à moins qu'il soit surdimensionné dès le départ,
- la surcharge du réseau de distribution signifie une puissance installée supérieure, une augmentation de la puissance souscrite pour le client industriel, et des pertes de puissance accrues.

On peut classer les effets engendrés par les harmoniques en deux types : les effets instantanés et les effets à terme

- ***Effets instantanés***

Les effets instantanés apparaissent immédiatement dans certains appareillages.

- En présence d'harmoniques, la tension et le courant peuvent changer plusieurs fois de signe dans une demi-période.

Les appareils dont le fonctionnement est basé sur le passage à zéro des grandeurs électriques peuvent être affectés.

- Vibrations et bruits : Les courants harmoniques génèrent également des vibrations et des bruits acoustiques, principalement dans les appareils électromagnétiques (transformateurs, inductances et machine tournantes).

- ***Effets à terme***

- L'effet à terme le plus important est de nature thermique, il se traduit par l'échauffement il conduit à une fatigue prématurée du matériel, des lignes et amènent un déclassement des équipements.
- Echauffement des câbles et des équipements, Ces effets peuvent être à moyen terme (de quelques secondes à quelques heures) ou à long terme (de quelques heures à quelques années) et concernent les câbles qui peuvent être le siège du suréchauffement du neutre et les matériels bobinées comme les transformateurs ou les moteurs.
- Echauffement des condensateurs : L'échauffement est causé par les pertes dues au phénomène d'hystérésis dans le diélectrique. Les condensateurs sont donc sensibles aux surcharges, qu'elles soient dues à une tension fondamentale trop élevée ou à la présence d'harmoniques. Ces échauffements peuvent conduire au claquage.
- Echauffement dû aux pertes supplémentaires des machines et des transformateurs :
- Echauffement causé par les pertes dans le stator des machines et principalement dans leurs circuits rotoriques (cages, amortisseurs, circuits magnétiques) à cause des différences importantes de vitesse entre les champs tournants inducteurs harmoniques et le rotor.
- Les harmoniques génèrent aussi des pertes supplémentaires dans les transformateurs, par effet Joule dans les enroulements, accentuées par l'effet de peau et des pertes par hystérésis et courants de Foucault dans les circuits magnétiques.

- le grand problème Si la fréquence propre du système batterie de condensateurs/réactance du réseau d'alimentation est proche d'une valeur d'une harmonique présente sur le réseau, alors une résonance partielle peut se produire avec une amplification des valeurs de tension et de courant à la fréquence harmonique concernée. Dans ce cas particulier, les courants élevés risquent de causer des échauffements anormaux des condensateurs, avec des dégradations de diélectrique pouvant entraîner la destruction des condensateurs.

L'ordre $\mathbf{h_0}$ de la fréquence propre de résonance entre la réactance du système et la batterie de condensateur est donné par la formule : $h_0 = \sqrt{\frac{S_{cc}}{Q}}$ (II.14)

Avec : S_{cc} = puissance de court-circuit du réseau (kVA) au point de raccordement des Condensateurs ou : - Q = puissance des condensateurs en kvar

- h_0 = ordre de la fréquence propre f_0 ,
- f_0 / 50 pour un système 50 Hz, ou f_0 / 60 pour un système 60 Hz.

Par exemple :

Puissance nominale du transformateur :	S = 630kVA
Tension de court-circuit :	U_{cc} = 6%
Puissance de court-circuit au niveau du jeu de barres :	S_{cc} ~ 10 MVA
Puissance réactive des condensateurs :	Q = 350 kvar

Alors : $h_0 = \sqrt{\frac{S_{cc}}{Q}} = \sqrt{\frac{10\times10^3}{350}} = 5.5$

La fréquence propre de résonance du système (condensateurs – réactance réseau) est proche du rang harmonique 5.

Pour un réseau 50Hz, la fréquence propre f_0 est alors égale à

$f_0 = 50 \times h_0 = 50 \times 5{,}5 = 275$ Hz.

II.5.2.4 Distorsion des harmoniques totale (THD)

Total Harmonic Distorsion (distorsion harmonique totale, abrégé THD) représente la variation d'un signal par rapport à une référence.

La distorsion des harmoniques est l'interférence dans un signal de courant alternatif crée par les fréquences multiples de l'onde sinusoïdale.

II.5.2.4.1 THD en courant ou en tension

- **THD en courant**

Méthode de calcul :

$$THD_i = \sqrt{\sum_{h=2}^{h=H} \left(\frac{I_h}{I_1}\right)^2} \qquad \text{(II.15)}$$

H est généralement pris égal à 50, mais peut être limité dans la plupart des cas à 25.

à noter que THD peut être supérieur à 1 et est généralement exprimé en pourcentage.

Ci-dessous sont fournies des valeurs indicatives de THD_i et les conséquences correspondantes pour une installation complète :

- $\leq$ 10% : situation normale, pas de risque de dysfonctionnements,
- 10 à 50% : distorsion harmonique significative avec un risque d'élévation de la température, nécessitant en conséquence un surdimensionnement des câbles et des sources,
- $\geq$ 50% : distorsion harmonique importante, des dysfonctionnements sont probables. Une analyse approfondie et l'installation de dispositifs d'atténuation sont nécessaires.

- **THD en tension**

Méthode de calcul :

$$THD_u = \sqrt{\sum_{h=2}^{h=H} \left(\frac{U_h}{U_1}\right)^2} \qquad \text{(II.16)}$$

Ci-dessous sont fournies des valeurs indicatives de THD_u et les conséquences correspondantes dans une installation :

- ≤ 5% : situation normale, pas de risque de dysfonctionnements,

- 5 à 8% : distorsion harmonique significative, certains défauts de fonctionnement sont possibles,

- ≥ 8% : distorsion harmonique importante, des dysfonctionnements sont probables. Une analyse approfondie et l'installation de dispositifs d'atténuation sont nécessaires.

II.6. conclusion

La difficulté de bien évaluer les problèmes liés à la circulation d'énergie réactive dans le réseau et installation électrique c'est l'apparition du phénomène de résonance qui manifeste par un taux d'harmonique qui est relativement élevé. Pour résoudre ce problème, et comme nous avons vu dans la formule (II.14) le changement de la puissance réactive a injectée peut diminuer la valeur de h_0 et son élimination par la suite.

III.1 Introduction

Pour nous permettre d'avoir toutes les caractéristiques techniques réelles des deux installations électriques du moulin et semoulerie INTRACE permettant de faire l'étude de faisabilité de jumelée l'alimentation électrique de la minoterie et celle de la semoulerie sous un seul transformateur, une campagne de mesures a été réalisée par l'analyseur d'énergie le CA8336 pour chaque installation, dont les résulta seront présenter dans ce qui suit.



Fig- III.1- Instrument de mesure utilisé «C.A 8336 (QUALISTAR+)»

III .2 Présentation des mesures

Pendant cette campagne, nous avons utilisé un appareil de mesure spécifique (analyseur d'énergie C.A 8336 (Qualistar+) « CHAVIN ARNOUX ») qui nous a permet d'avoir par phase le courant, la tension, la puissance active, la puissance réactive, le facteur de puissance, les harmoniques et le taux de distorsion d'harmoniques (THD), et des relevés des paramètres de fonctionnement des équipements.

L'objectif de cette partie est d'analyser le régime de fonctionnement des différents transformateurs et équipements électriques. De même analyser les bilans des différents transformateurs afin d'identifier d'éventuels gisements d'économies d'énergie.

III.3 Interprétation des mesures :

Dans cette interprétation les facteurs les plus importants pris dans les mesures sont :

- La tension : qui doit être plus de 400 V et ne doit pas dépasser les 440 V (c'est relatif aux caractéristiques des équipements installés).
- Déséquilibre : ne doit pas dépasser 10%, (c'est le courant qui circule dans le neutre)
- Le Cos phi : doit être supérieur ou égale à 0.8944.

Le taux d'harmonique ne dépasse pas les 5% selon la norme CEI61000-4-7.



Fig-III.1.A- C.A 8336 (Qualistar+) en cour de mesure

III.4 Mesures des caractéristiques électriques de la minoterie.

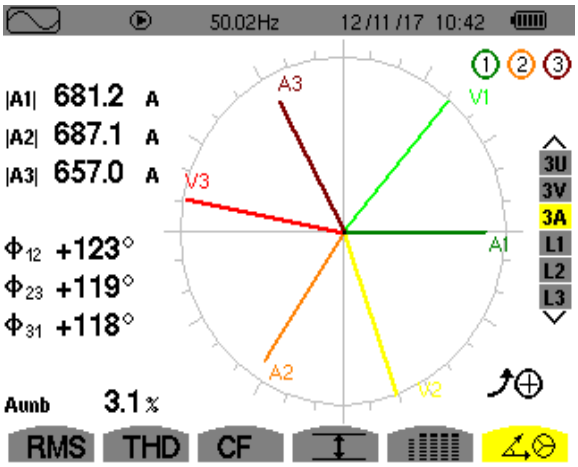


Fig -III.2- pherinel courant /Mino

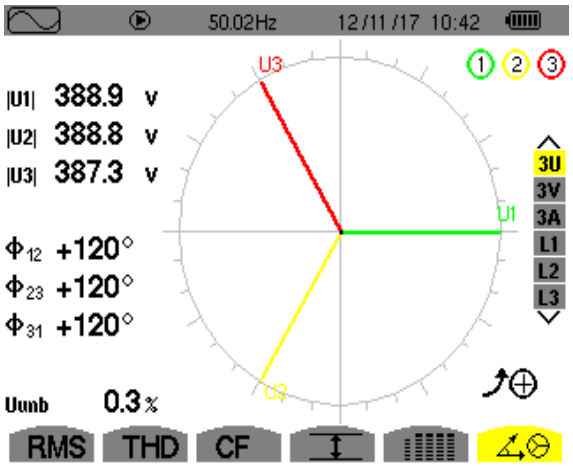


Fig -III.3- pherinel tension /Mino

Avoir le sens du déphasage $\mathbf{U_1,U_2,U_3}$ et $\mathbf{I_1, I_2, I_3}$ positif , cela veut dire que le courant I_1 et la tension U_1 correspond bien pour la première phase et de même pour les autres.

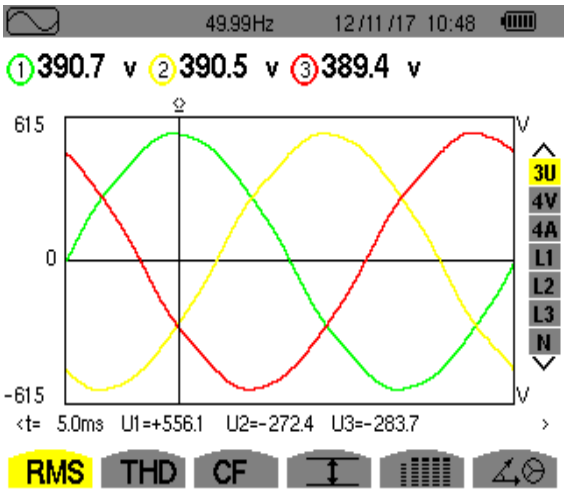


Fig -III.4.A- tension /Mino

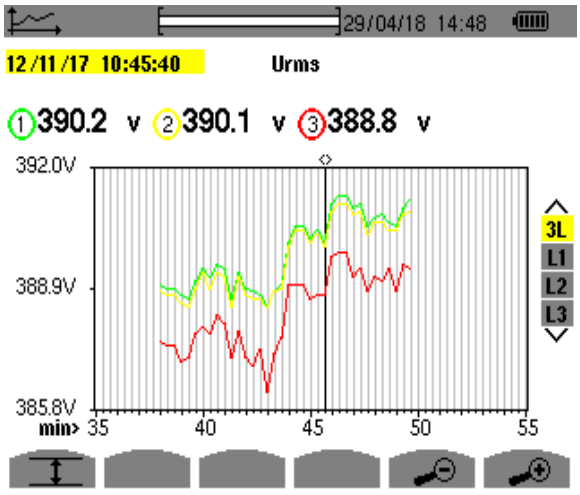


Fig -III.4.B- tension / Mino

L'installation électrique du minoterie souffre d'une chute de tension en charge, puisque tous les moteurs électriques ont un une tension nominale de **400V.**

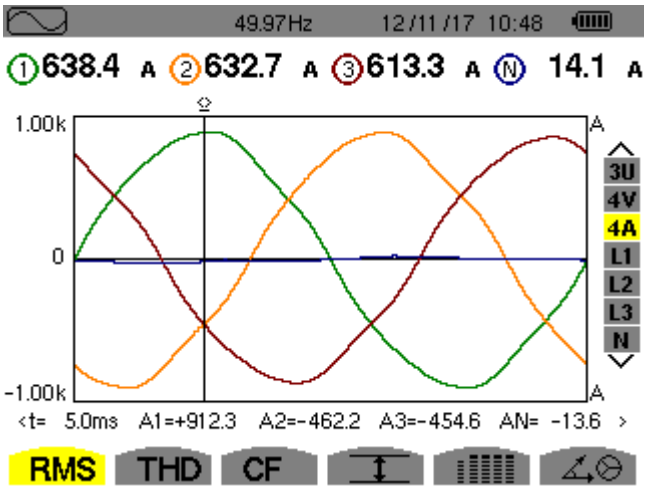


Fig -III.5- courant /Mino

Le courant consommé par la minoterie seule représente plus de **70%** du courant nominal du transformateur **630KVA**, qui est **909A**.

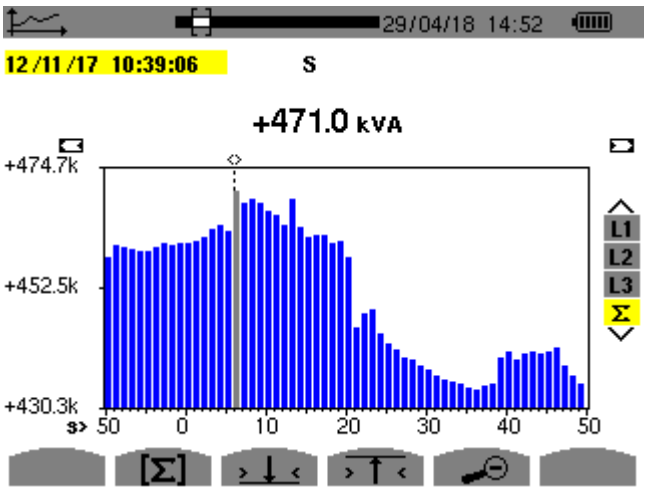


Fig -III.6- puissance apparente /Mino

La puissance apparente nécessaire pour faire fonctionner la minoterie seule est de **470KVA** presque **75%** de la puissance apparente du transformateur **630KVA.**

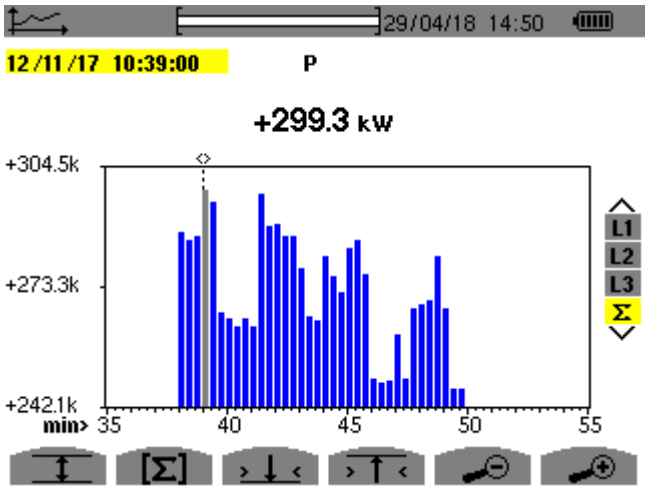


Fig -III. 7- puissance active /Mino

La puissance maximale atteinte de la minoterie est de **300KW** durant la période d'enregistrement.

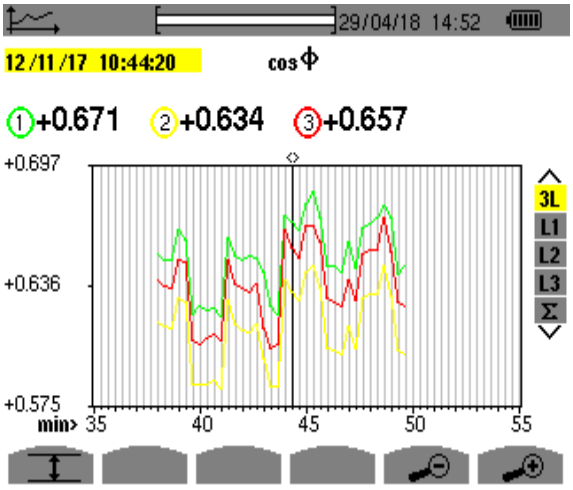


Fig -III.8- facteur de puissance /Mino



Fig -III.8.A- facteur de puissance /Mino du compteur de distributeur

La valeur moyenne du **cosφ** des trois phases est presque **0,65** .

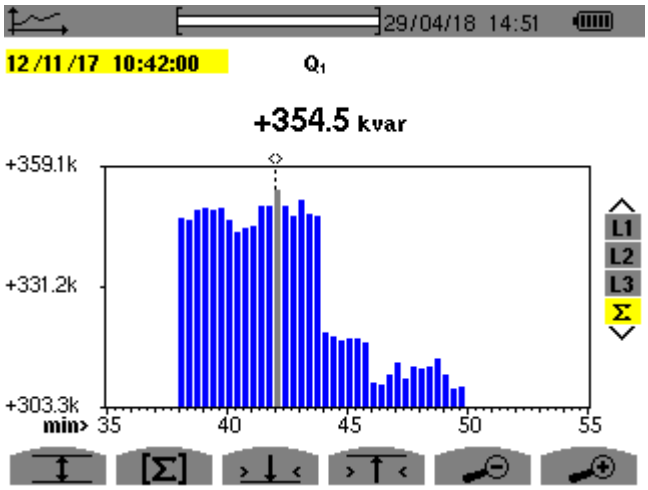


Fig -III.9- puissance réactive /Mino

La puissance réactive nécessaire pour améliorer le **cosφ = 0,65** vers une valeur qui se rapproche de 1 est **Q_c = 355 KVAR.**

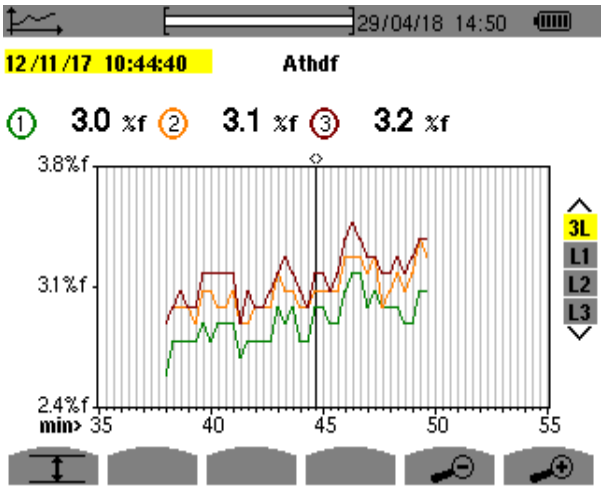


Fig - III.10 - taux harmonique courant /Mino

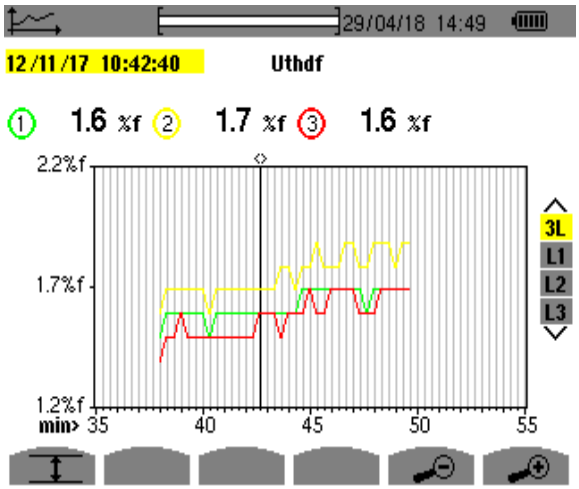


Fig -III.11 - taux harmonique tension/ Mino

Le taux des harmoniques courant **THDI** et tension **THDU** ont une valeur faible.

La photo suivante montre une mesure instantanée des puissances et le **cosφ** de toute l'installation de la Minoterie.

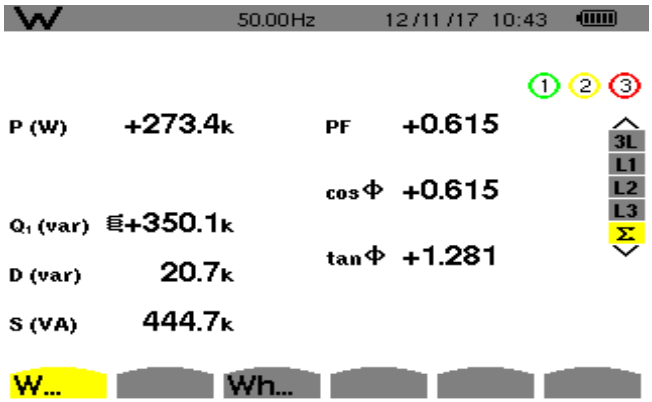


Fig - III.12 - mesure de tous les paramètres (instantané) /Mino

- Ces mesures qui sont prises à partir de la minoterie sont approuvées par la facture d'électricité réelle située dans ANNEXE III. 1

III.5 Mesures des caractéristiques électriques de la semoulerie.

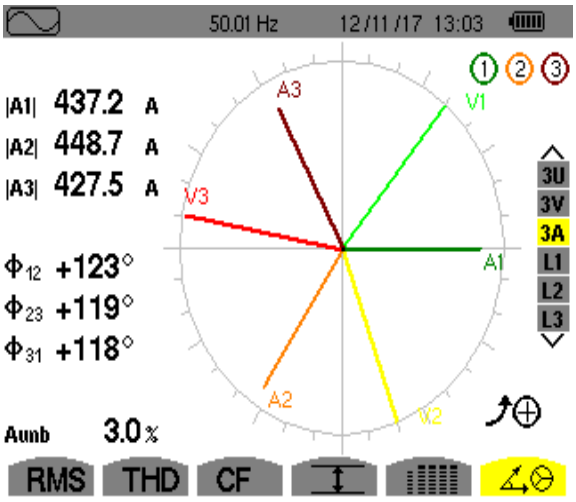


Fig -III.13- pherinel courant /Sem

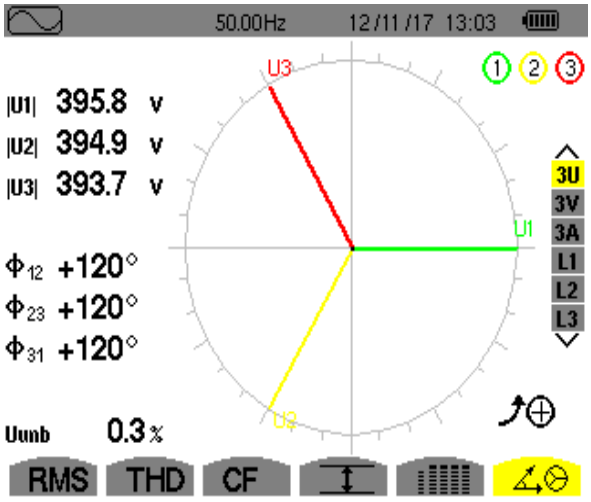


Fig -III.14- pherinel tension /Sem

voir le sens du déphasage U_1, U_2, U_3 et I_1, I_2, I_3 positif , cela veut dire que le courant I_1 et la tension U_1 correspond bien pour la première phase et de même pour les autres.

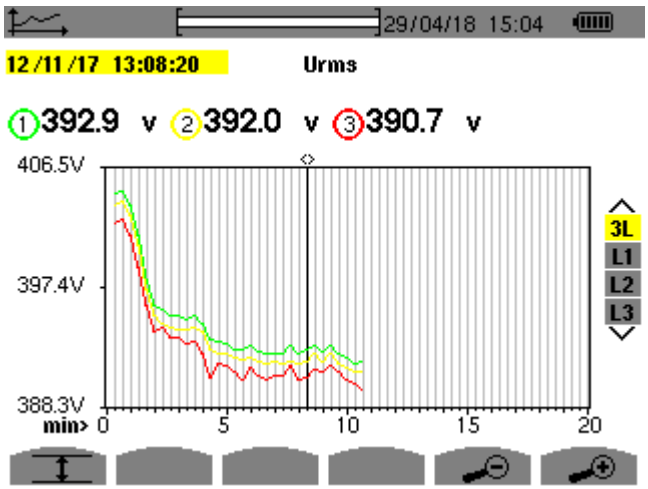


Fig -III.15- tension / Sem

La tension a vide est plus que **400V**, des la mise en service de la semoulerie, la tension chute a presque **392V.**

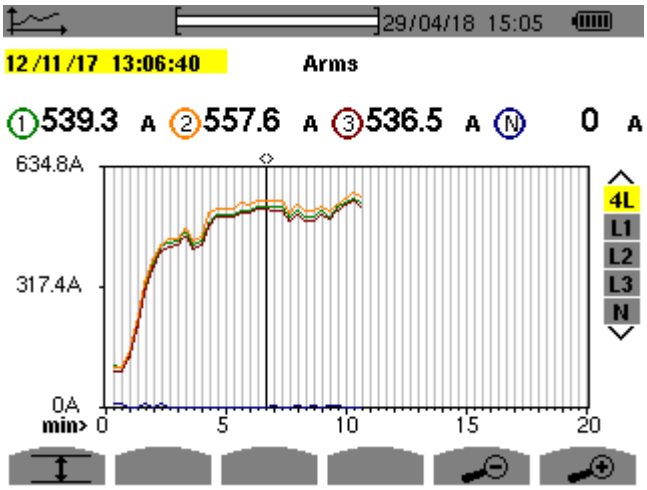


Fig -III.16- courant / Sem

Le courant consommé par la semoulerie seule représente plus de 60% du courant nominal du transformateur **630KVA**, qui est **909A.**

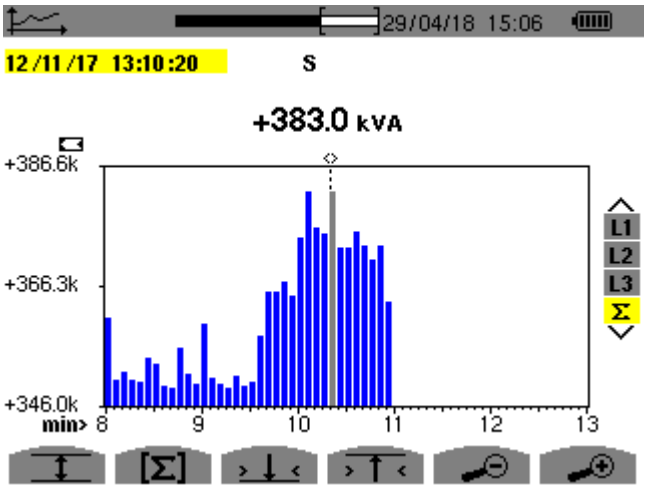


Fig -III.17- puissance apparente / Sem

La puissance apparente nécessaire pour faire fonctionner la minoterie seule est de **385KVA,** plus de60% de la puissance apparente du transformateur **630KVA.**

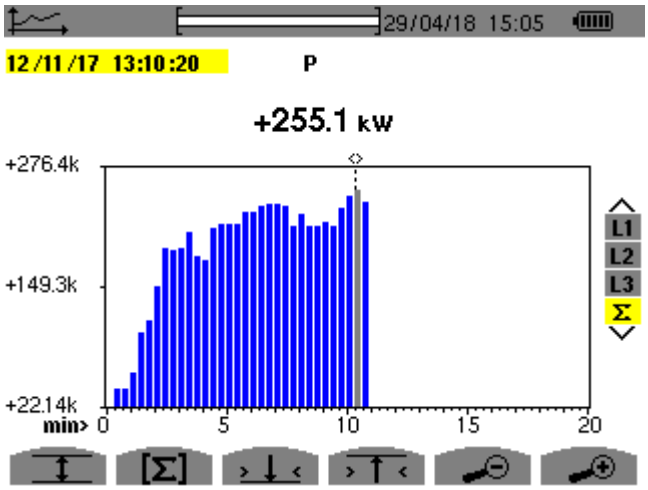


Fig -III.18- puissance active / Sem

La puissance maximale atteinte de la minoterie est de **255KW** durant la période d'enregistrement.

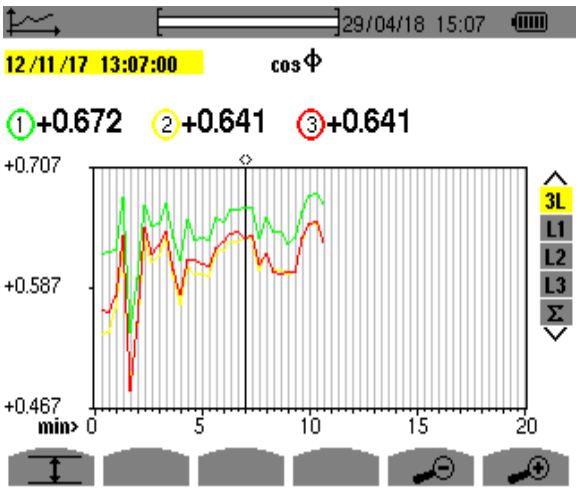


Fig -III.19- facteur de puissance / Sem



Fig -III.19.A- facteur de puissance /sem Du compteur de distributeur

La valeur moyenne du **cosφ** des trois phases est presque **0,65** .

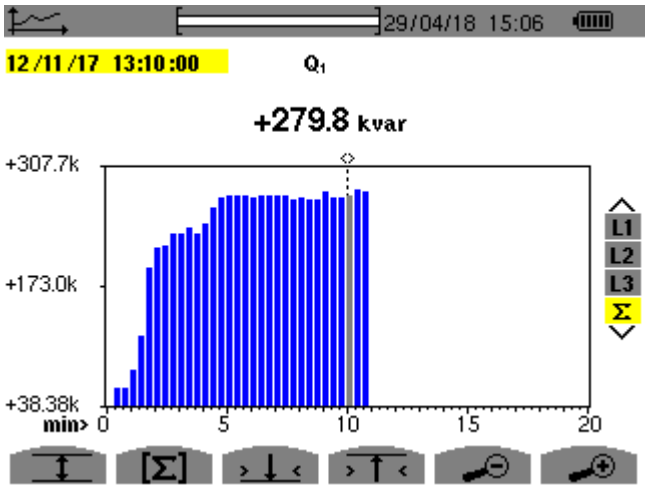


Fig -III.20-_puissance réactive / Sem

La puissance réactive nécessaire pour améliorer le **cosφ = 0,65** vers une valeur qui se rapproche de **1** est **Q_c =280 KVAR**.

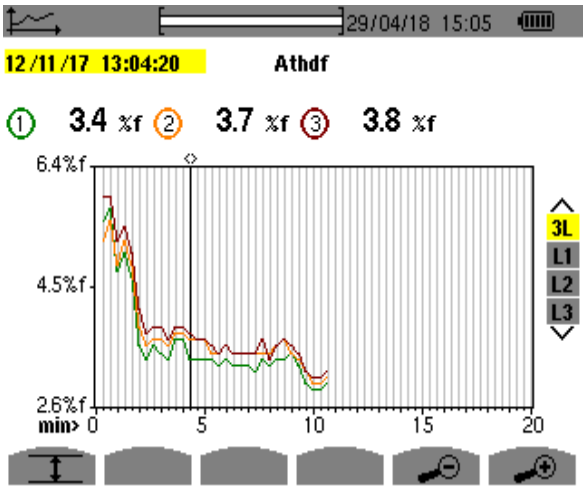


Fig -III.21-taux harmonique courant /Sem

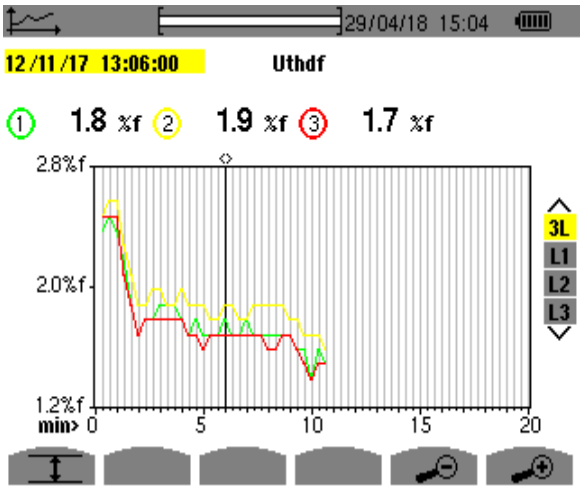


Fig -III.22-taux harmonique tension/ Sem

Le taux des harmoniques courant **THDI** et tension **THDU** ont une valeur faible.

- Ces mesures qui sont prises à partir de la semoulerie sont approuvées par la facture d'électricité réelle située dans **ANNEXE III.2**

III.6 Résultats des mesures

Les mesures électriques des deux installations montrent que :

- les puissances actives maximales atteintes des deux unités de productions (la minoterie et la semoulerie) qui sont respectivement 300 et 255KW (555KW)donnent une idée qu'il est possible de jumeler les deux installations sur une seule alimentation a savoir un seul transformateur 630 KVA, à condition d'améliorer le cosφ de la nouvelle installation a une valeur supérieur a 0,94, puisque comme nous avons cité au chapitre II , tableau II.1 ; un transformateur de 630KVA ne peut débité plus de 440 KW avec un cosφ = 0,70 (tgφ=102 %) , mais il peut débité une puissance de 592KW avec un cosφ=0,94 (tgφ=36 %).
- Les puissances réactives totales des deux installations qui sont 355 et 280KVAR nécessaires pour améliorer le cosφ de la valeur 0,65 vers une valeur qui se rapproche de 1est 635KVAR.

III.7. Choix de l'armoire de compensation d'énergie réactive

Pour résoudre ce problème, nous avons choisi une armoire de compensation d'énergie réactive de puissance 675KVAR selon la disponibilité du marché, constituée par 9 gradins de 75KVAR chacune à un appareil de coupure et d'isolement un sectionneur 1000A ainsi qu'un régulateur varmétrique, à savoir sectionneur porte fusibles, condensateurs et des résistances de décharges



Fig - III.23- armoire de compensation

La mise en service de cette armoire de compensation a donnée les résultats de mesures suivantes.

III.8 Mesures des caractéristiques électriques après le jumelage.

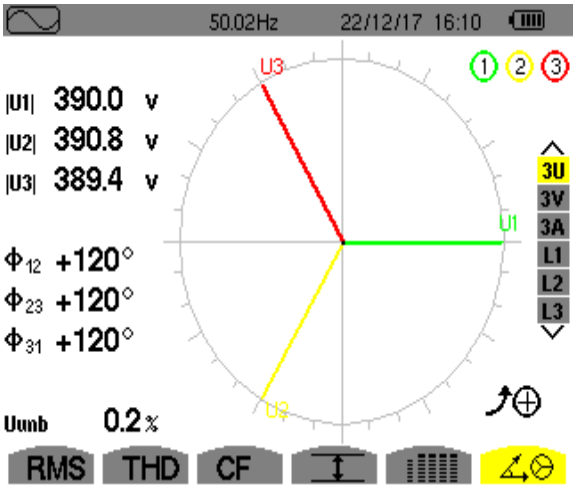


Fig -III.24- pherinel courant /jum

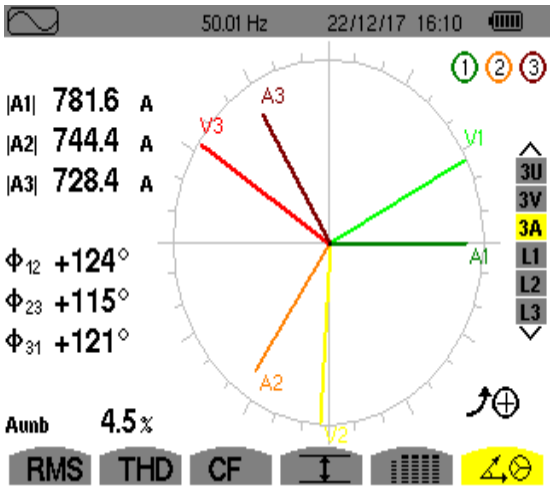


Fig -III.25- pherinel tension /jum

Avoir le sens du déphasage $\mathbf{U_1}$,$\mathbf{U_2}$,$\mathbf{U_3}$ et $\mathbf{I_1}$, $\mathbf{I_2}$,$\mathbf{I_3}$ positif , cela veut dire que le courant $\mathbf{I_1}$ et la tension $\mathbf{U_1}$ correspond bien pour la première phase et de même pour les autres.

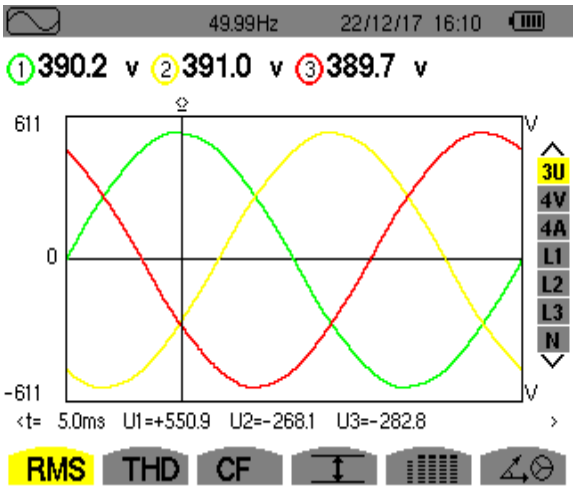


Fig -III.26.A- tension /Jum

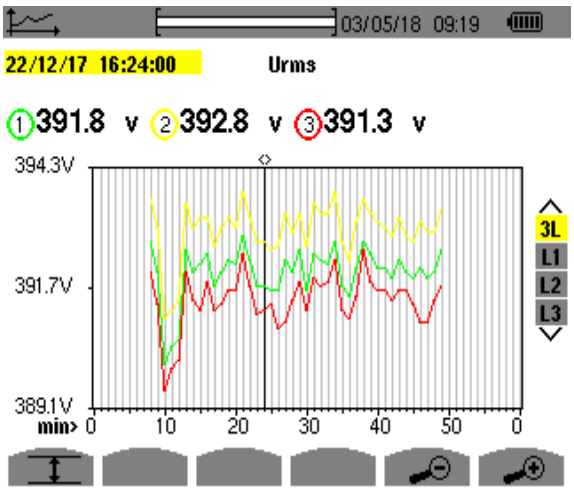


Fig -III.26.B- tension /Jum

Une petite amélioration de la valeur de la tension de la nouvelle installation**.**

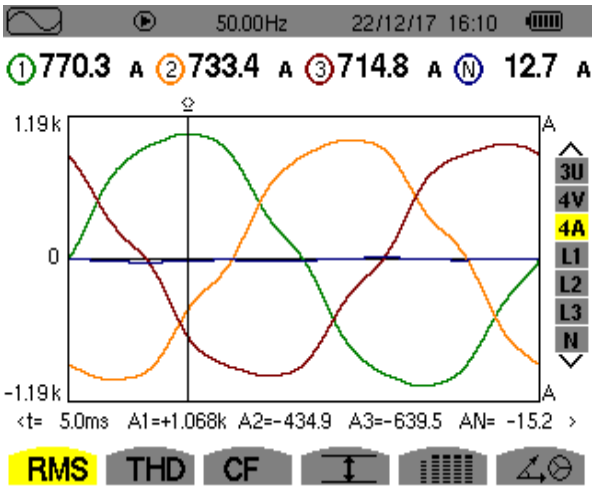


Fig -III.27.A- courant /Jum

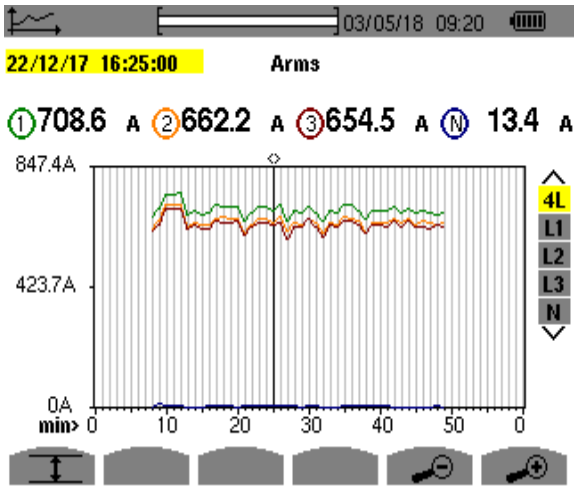


Fig -III.27.B- courant /Jum

Le courant consommé par la nouvelle installation est nettement inférieure a la somme des courants des deux unités.

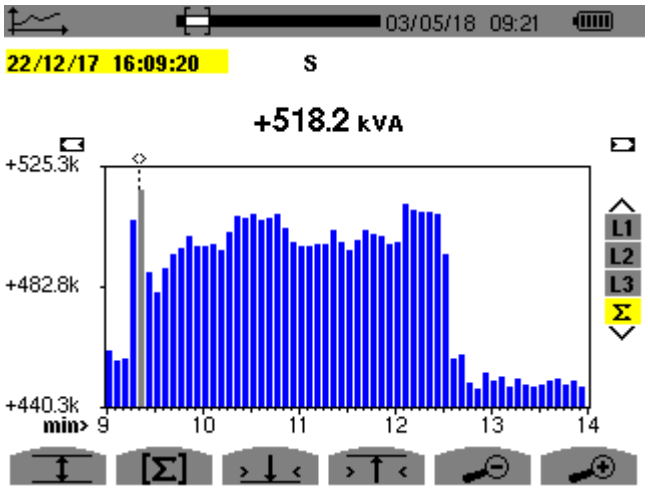


Fig - III.28 -puissance apparente /Jum

La puissance apparente nécessaire pour faire fonctionner la nouvelle installation est moins par rapport a la somme des deux anciennes puissances**.**

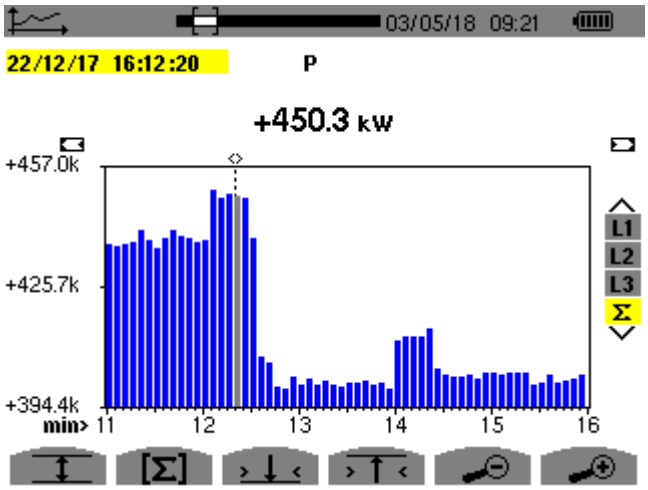


Fig -III.29 -puissance active /Jum

La puissance maximale atteinte de la nouvelle est de 450KW durant la période d'enregistrement.

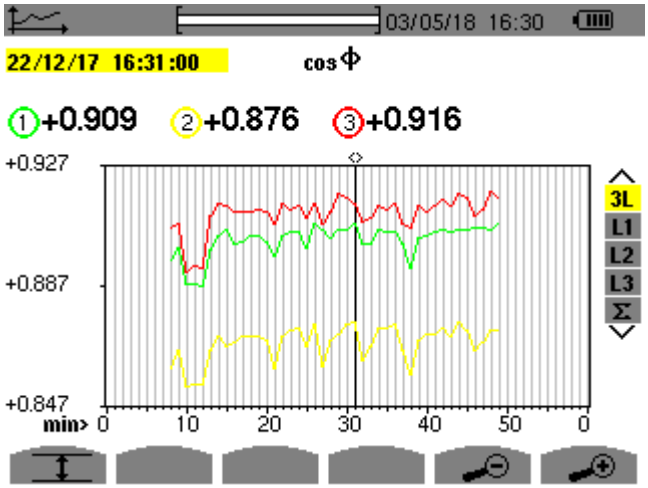


Fig - III.30 - facteur de puissance /Jum

La valeur moyenne du **cosφ** des trois phases est presque **0,91** ; cela est obtenu après la compensation.

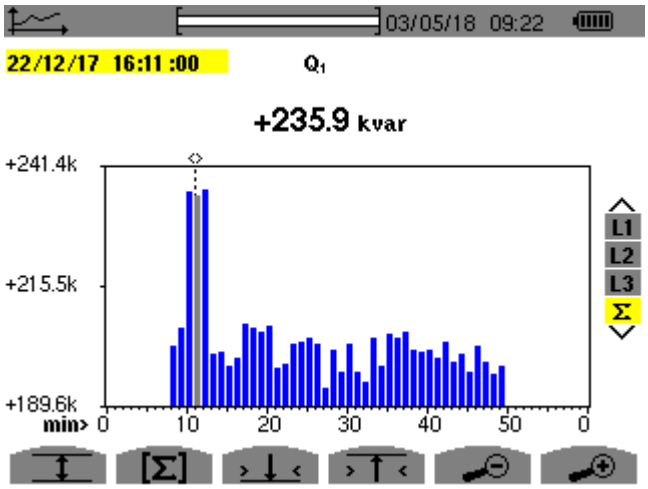


Fig -III.31- puissance réactive /Jum

La puissance réactive de la nouvelle installation nécessaire pour améliorer le **cosφ** vers une valeur qui se rapproche du 1 est diminuée a moins de **210KVAR** pour les deux anciennes installations.

- Ces mesures qui sont prises à partir de la nouvelle installation (jumelage) sont approuvées par la facture d'électricité réelle située dans **ANNEXE III.3**

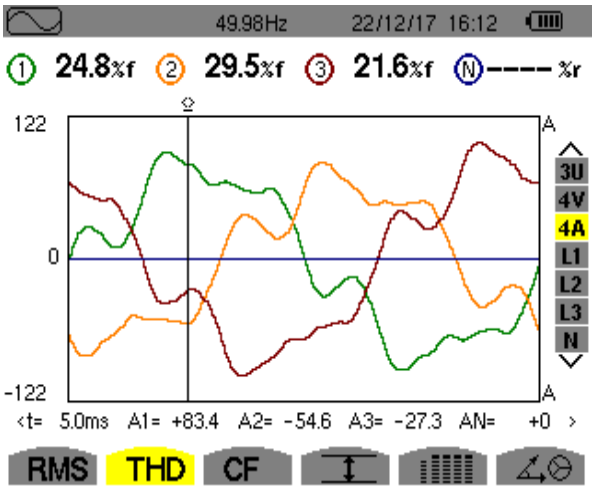


Fig-III.32.A-taux harmonique courant /Jum

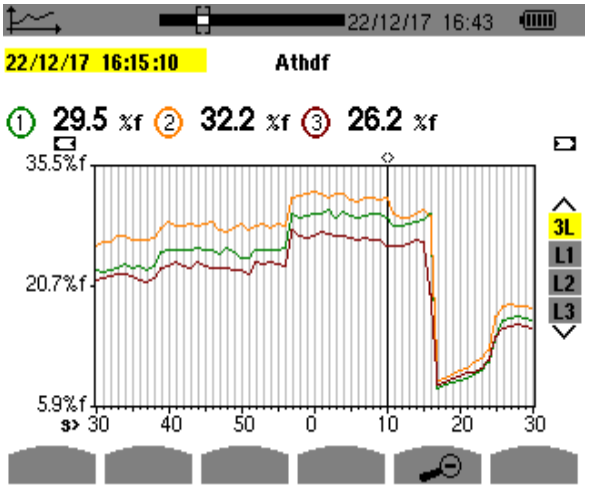


Fig -III.32.B.-taux harmonique courant/ Jum

L'apparition subit d'un taux d'harmonique en courant élevé lors de l'enclenchement des gradins de l'armoire des batteries de condensateurs, contrairement au taux d'harmonique en tension qui n'a pas subi aucun changement par rapport à sa valeur dans les mesures des deux anciennes installations.

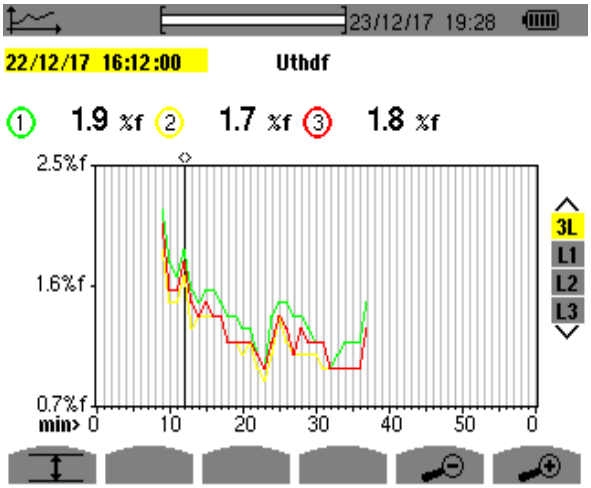


Fig -III.33- taux harmonique tension /Jum

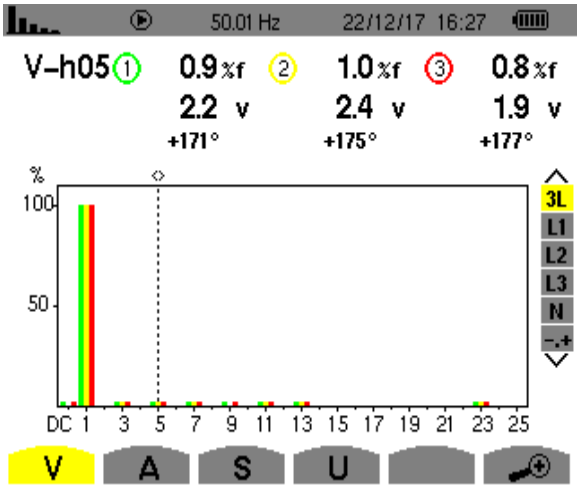


Fig -III.34 - le rang harmonique tension /Jum V-h05

Ce que nous avons constater , que l'enclenchement du premier gradin de batteries de condensateurs de **75KVAR**, puis le deuxième gradin de même puissance engendre un taux d'harmonique dépasse les **30%** ; c'est un phénomène qui nous a obligé de chercher le ou les rangs responsable de cette élévation anormal de ce taux d' harmonique.

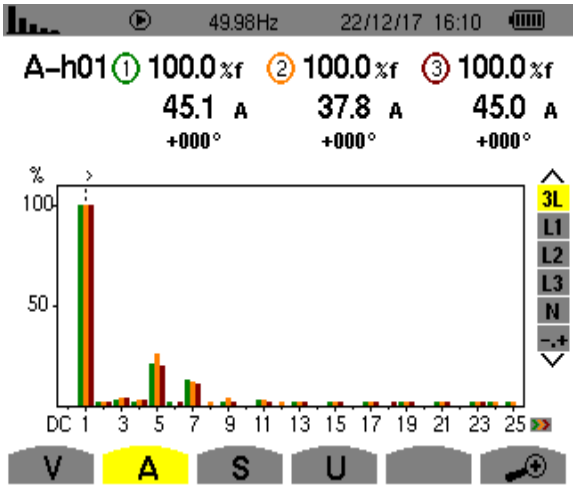


Fig -III.35- le rang harmonique Courant fondamental /Jum

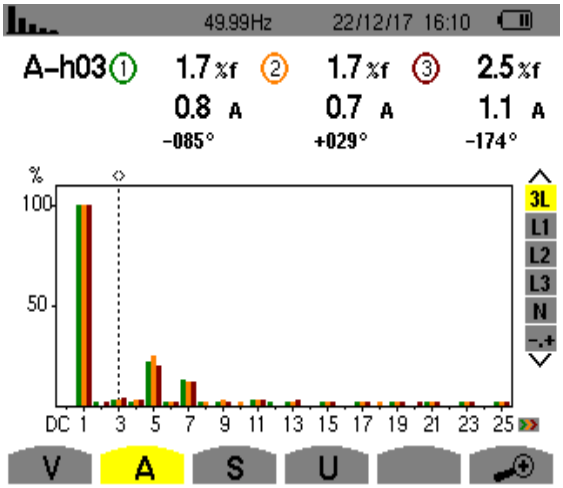


Fig -III.36- le rang harmonique courant/jum A-h03

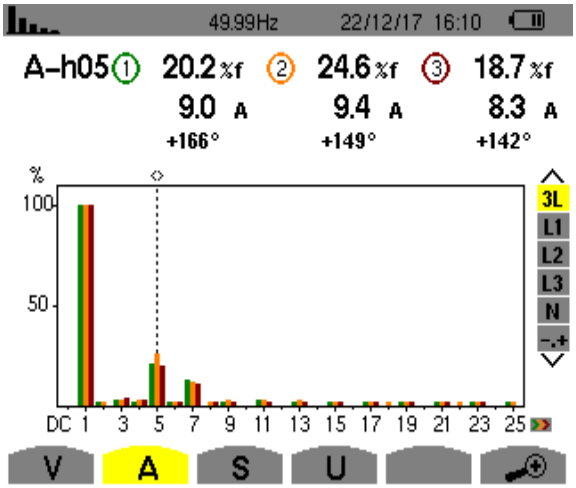


Fig -III.37- le rang harmonique A-h05 /Jum

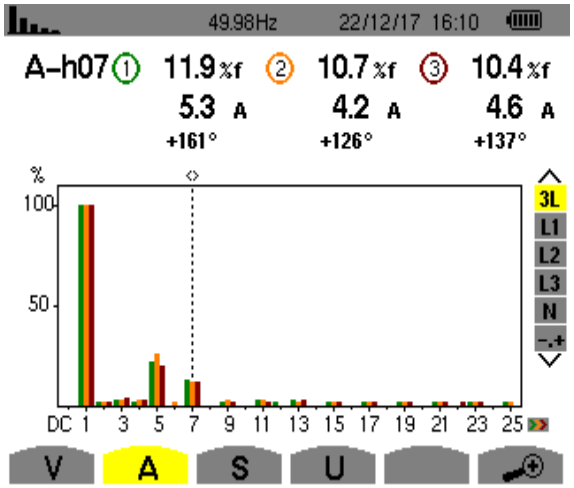


Fig -III.38- le rang harmonique A-h07 /Jum

Comme le montre les deux figures III.31 et III.32 respectivement, le taux des rag N°5 et rag N°7 a dépassé les valeurs acceptables ce qui mis en jeux les condensateurs et par conséquent toute l'armoire de compensation d'énergie réactive.

III .9 Influence des harmoniques sur les condensateurs [8]

Un des phénomènes importants entrainant la dégradation de la qualité d'énergie est la présence de la pollution harmonique sur les réseaux électriques. Les conséquences les plus connues de ces phénomènes sont :

-la destruction de condensateurs ;

-le déclenchement intempestif de disjoncteurs et disjoncteurs différentiels ;

-les phénomènes de résonance avec les éléments composant l'installation électrique.

C'est pour cette raison qu'on a limité la valeur du cosφ désiré à 0,90 dans cette partie de mesure , pour ne pas enclencher le maximum de gradins et le taux d'harmonique devient plus que la valeur affichée, surtout que l'armoire de compensation d'énergie réactive installée ne dispose pas de selfs anti-harmonique qui peuvent protéger les condensateurs de l'armoire de compensation .

III.10 Remplacement de l'armoire de compensation d'énergie réactive

Dans le cas d'un réseau fortement pollué par les harmoniques, l'installation d'une self anti-harmonique est la seule protection efficace, qui assure un double rôle :

- Augmenter l'impédance du condensateur vis-à-vis des courants harmoniques.
- déplacer la fréquence de résonnance de la source et du condensateur au dessous des principales fréquences des courants harmoniques perturbants.



Fig III-39- l'armoire de compensation d'énergie réactive avec selfs anti-harmoniques qui a remplace la première armoire de compensation

- Les schémas de puissance et de commande de cette nouvelle armoire sont situé respectivement dans les **ANNEXE III.4 et III.5**

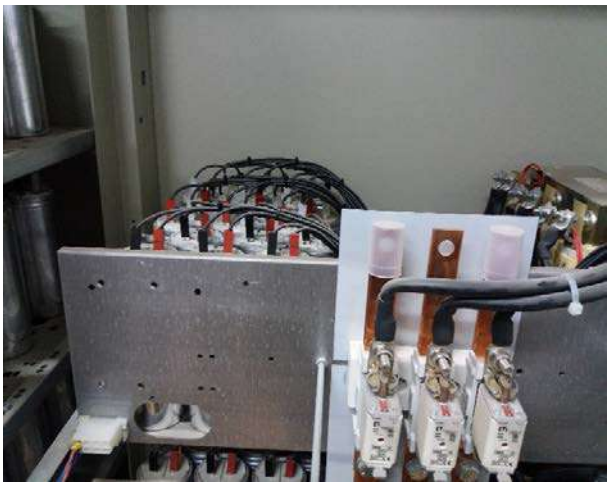


Fig –*III.40- constitution d'un gradin avec self anti-harmonique*



fig :-III.41- la self anti-harmonique d'un gradin

D'où il vient ce phénomène de résonance ?

Les circuits de puissance, constitués de résistances, d'inductances et de capacités. L'association d'une inductance et d'un condensateur, que ce soit en série ou en parallèle, forme un circuit résonant qui possède une fréquence propre d'oscillation. Si la fréquence du réseau qui est 50Hz, était la seule à intervenir, les circuits de puissance pourraient être réalisés pour éviter que certains éléments entre en résonance a cette fréquence, mais a cause de la non linéarités introduites par les charges non linéaires, la fréquence d'un des harmoniques de courant peut approcher la fréquence de résonance de certains éléments du circuit.

Les capacités et les inductances du transformateur et des câbles de liaison forment des circuits dont les fréquences de résonance sont relativement élevées, de l'ordre de quelques kilohertz. Cependant quand les batteries de condensateurs sont introduites dans le but de relever le facteur de puissance de l'installation, les fréquences propres de résonance peuvent devenir assez faibles pour coïncider avec celles d'harmoniques d'amplitudes non négligeables générer par les charges non linéaires.

III .11 Résonance parallèle ou anti-résonance entre les condensateurs et la source

- La réactance de la source X_{LT} est proportionnelle à la fréquence.
- La réactance des condensateurs X_C est inversement proportionnelle à la fréquence.

$$X_C = \frac{1}{C\ .W} = \frac{1}{C\ .2\ .\pi\ .f} \text{ ---------- (III.1)}$$

À la fréquence (Fr.p), il y a résonance parallèle ou anti-résonance (car les deux réactances sont égales mais opposées), et Pour connaître la fréquence d'harmonique (Fr.p) du rang n avec un risque de résonnance du système c'est le facteur d'amplification (Fa) des courants harmoniques dans les condensateurs et dans la source (transformateurs) utiliser les formules suivantes :

$$Scc = \frac{S_T}{U_{CC}} \quad , \quad Fr.p = F\ .\ \sqrt{\frac{Scc}{Q_C}} \quad , \quad Fa = \sqrt{\frac{Scc\ .\ Q_C}{S}} \text{ -------(III.2)}$$

- Fr.p : fréquence résonance parallèle self anti-harmoniques / condensateur/transformateur MT/BT
- Scc : puissance de court-circuit du transformateur
- Ucc: tension de court-circuit de transformateur HTA/BT
- Qc : puissance réactive de la batterie de condensateurs
- F : fréquence fondamentale (50 Hz en France)
- S_T : puissance en kVA du transformateur HTA/BT (ou des transformateurs HTA/BT dans le cas de deux ou plusieurs transformateurs en parallèle)
- S : puissance active des charges non génératrices d'harmoniques (non polluantes)

- Plus la puissance de court-circuit de la source (Scc) est élevée, plus la fréquence de résonance s'éloigne des fréquences harmoniques dangereuses.

- Plus la puissance (P) des charges non polluantes n'est importante, plus le facteur d'amplification des courants harmoniques diminuent.

III.11.1 Caractéristiques techniques des selfs anti- harmonique. [9]

SELFS ANTI-HARMONIQUES TRIPHASEES 400V, 50HZ					
Fréquence d'accord 189HZ (p% = 7- n = 3.78) Version classique prévue pour un niveau d'harmonique 25% < SH/ST < 35%					
Q(KVAR)	**Référence du condensateur**	**Ln(mH)**	**I_{RMS} (A)**	**Référence**	**Plot (w)**
12.5	VH 12.540	2.85	21	SAH-2.85-21	100
25	VH 2540	1.45	42	SAH-1.45-42	160
50	VH 5040	0.72	83	SAH-0.72-83	230
75	VH 7540	0.48	123	SAH-0.48-123	320

Tableau- III.3 - caractéristique technique des selfs anti-harmoniques (version classique)

Fréquence d'accord 189HZ (p% = 7- n = 3.78) Version renforcée prévue pour un niveau d'harmonique 35% < SH/ST < 50%					
Q(KVAR)	**Référence du condensateur**	**Ln(mH)**	**I_{RMS} (A)**	**Référence**	**Plot (w)**
20	VH 2040	1.78	38	SAH-2.85-21	200
40	VH 4040	0.9	75	SAH-2.85-21	280
80	VH 8040	0.45	150	SAH-2.85-21	380

Tableau - III.4 - caractéristique technique des selfs anti-harmoniques (version renforcée)

Remarque : si le rapport SH/ST est compris entre les deux valeurs indiquées dans le tableau vous devez alors sélectionner la solution la restrictive.

III.12. Comparaison entre la nouvelle installation sans compensation et avec compensation.

La mise en service de la nouvelle armoire de compensation d'énergie réactive équipée par **self anti harmonique**, nous a permis d'élevé le facteur de puissance désiré a une valeur supérieure de **0,94** , ce qui nous faire la comparaison technique suivante.

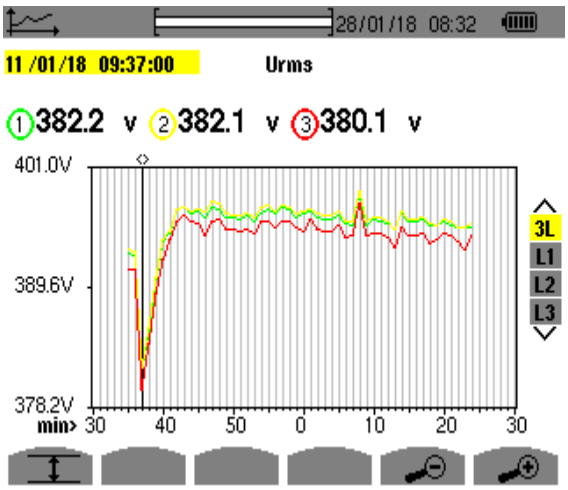


Fig -III.42- la tension avant

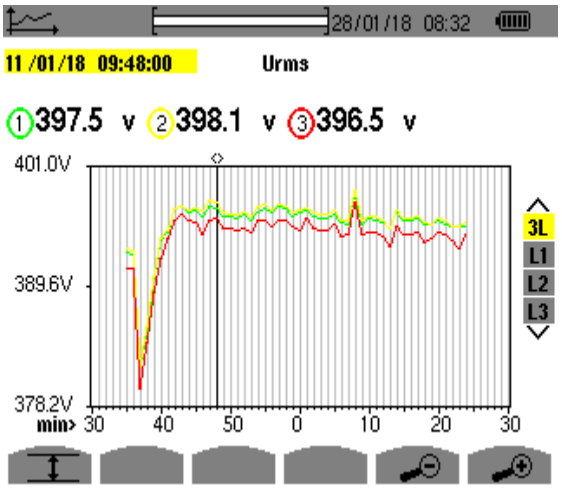


Fig -III.43- la tension aprés

Une chute de tension de plus de 16V par phase.

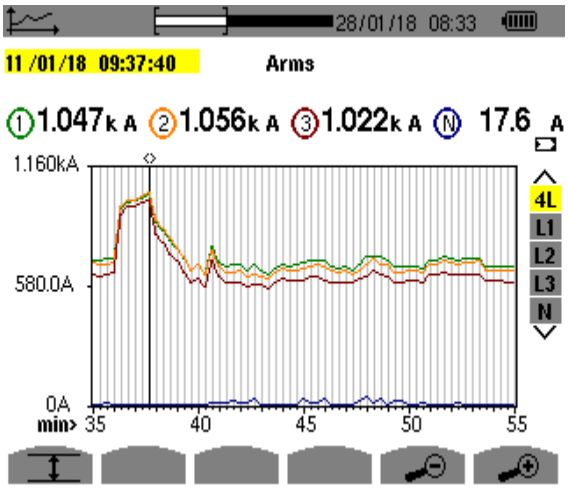


Fig -III.44- le courant avant

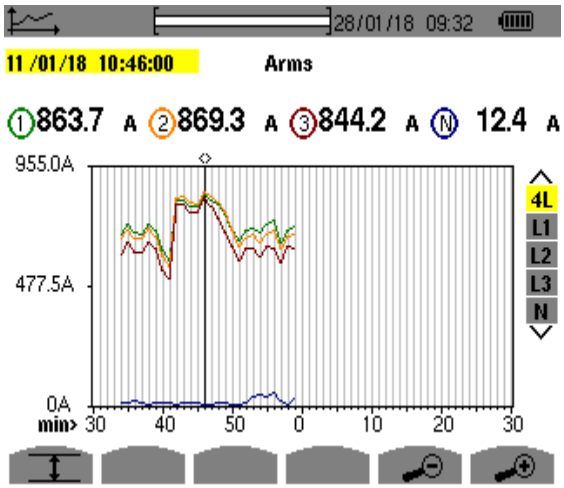


Fig -III.45- le courant avant

Un gain en courant de plus de 180A par phase.

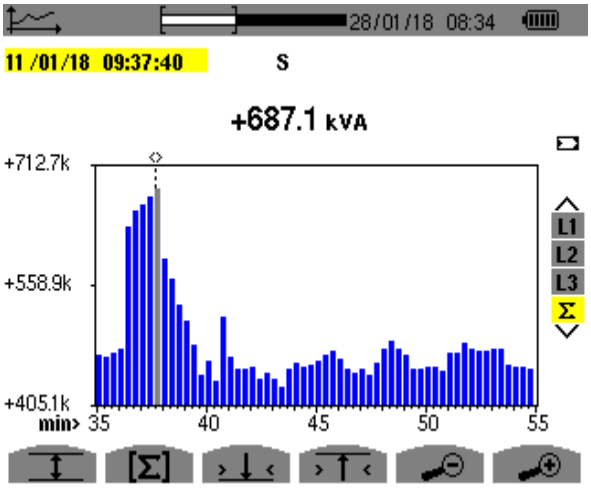


Fig -III.46- la puissance apparente avant

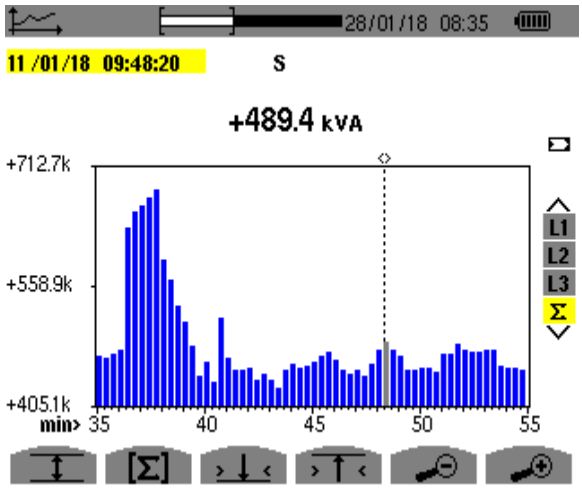
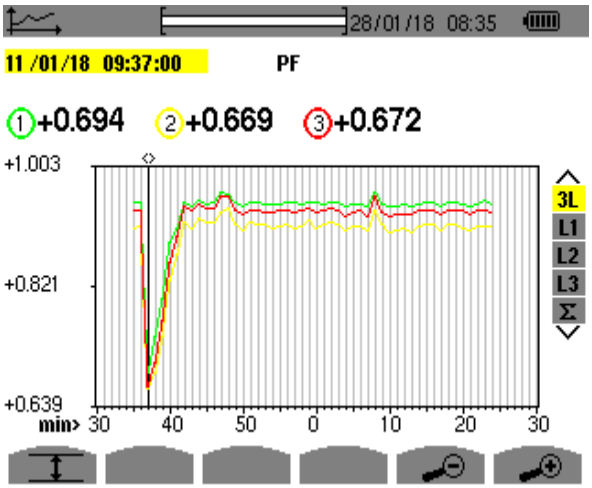


Fig -III.47- la puissance apparente après

Un gain en puissance apparante de 200KVA**.**



Fi g -III.48- le facteur de puissance avant

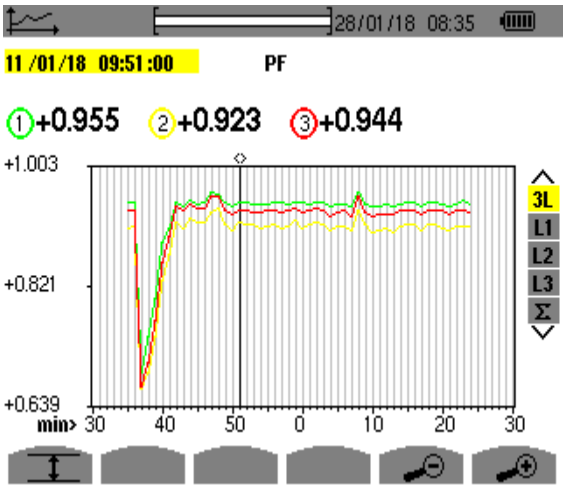
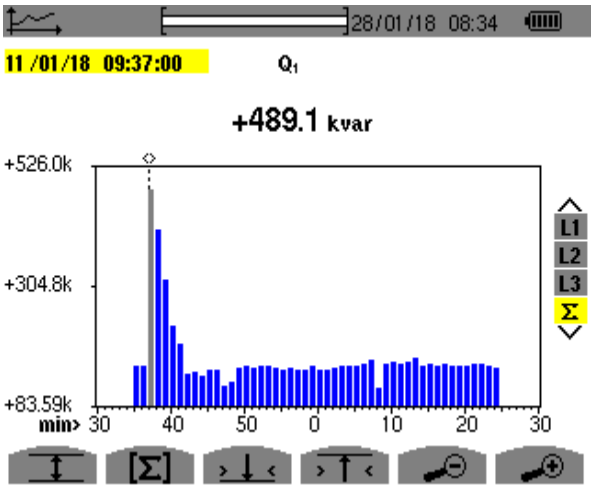
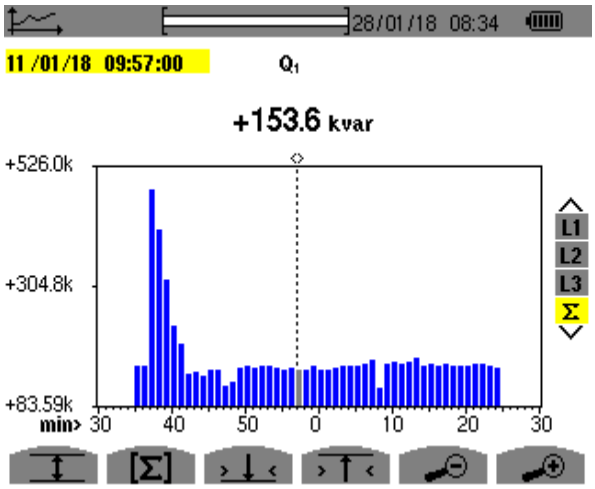


Fig -III.49- le facteur de puissance après

Amélioration du cosφ presque 0,26.



Fi g -III.50- la puissance réactive avant



Fi g -III.48- la puissance réactive après

L'installation consomme sa propre énergie réactive et mettre plus de 100KVAR au réseau de distribution.

III.13 Conclusion

Sur la base de ce travail, nous pouvons conclure qu'on a pu faire gagner l'entreprise INTRACE un gain financier direct considérable qu'on peut estimer comme suit :

1- La construction et l'achat d'un nouveau poste de transformateur de 2x630KVA de type B qui a coûté environ 17millions de dinars comme investissement,
2- Elimination du coût de la **majoration** (pénalité appliquée par le distributeur d'électricité sur les clients ayant un cosφ inferieur a 0,8944), un montant de plus de 70 000,00 DA en HT par mois dans l'exploitation.
3- Elimination de la PMD (puissance mise à disposition) d'un des deux transformateurs estimés à 13 000,00DA en Hors Taxes par mois dans l'exploitation,
4- Elimination des pertes a vide et à charge d'un des deux transformateurs estimés à
5- 10 000,00DA par mois dans l'exploitation,
6- Nous avons évité les coûts très importants d'arrêt de production d'une des deux unités,

Les plus importants gains sont d'ordre techniques et qui touchent directement la qualité du réseau électrique peuvent aussi être cités comme par exemple :

- L'élimination de la chute de tension dans l'installation électrique interne.

-L'augmentation des durées de vie d'une centaine de moteurs électrique par l'amélioration du cosφ a une valeur supérieur a 0,94 dans la nouvelle installation (le jumelage)

-La réduction du risque d'échauffement par la diminution du courant circulant dans l'installation (pertes par effet de joule).

Enfin, en plus des gains du consommateur, le distributeur d'électricité a aussi gagné une PMD de presque 500KW qu'il réservera a un autre client sans investissement et quelques centaines de KVAR dans son réseau de distribution.

conclusion générale

De nos jours, l'énergie d'une façon générale et l'électricité précisément est un domaine de la plus haute importance. à l'heure où l'économie des pays industrialisés repose sur leur capacité à produire ou à acheter l'énergie, l'utilisation rationnelle et adéquate et surtout sans perte inutile est devenu capitale.

Ce projet, bien que ne touchant qu'un de ces domaines de la quantité et la qualité de l'énergie pourtant si vaste, a permis de faire un bref survol de la problématique liée à une bonne maitrise et optimisation de nos ressources qui sont entre nos mains.

C'est dans cette logique, que ce travail est venu pour combler un vide important dans le domaine industriel local, où la notion d'optimisation n'existe pas, puisque l'énergie en Algérie est subventionnée à un taux très élevé. Pourtant, il est très important de prendre ce facteur en considération car c' est un élément essentiel pour gagner la bataille de la concurrence, au moment où la consommation interne ne cesse de grandir rendant incertaines nos capacités à l'exportation en gaz.

Avec ce travail, nous avons montré qu'un transformateur de 630KVA, a pu faire fonctionner deux installations qui étaient alimentées et depuis plus de 16 ans par deux transformateurs de 630KVA chacun, avec une meilleure qualité et un moindre coût d'investissement et d'exploitation.

Nous espérons une éventuelle continuation dans ce domaine pour deux raisons :

- rapprochement de l'université du monde industrielle

- que les efforts fournis par l'état pour une meilleure économie de l'énergie et une sensibilisation plus accrue envers les investisseurs puisse avoir les résultats tant espérés quant à une réduction au minimum des pertes d'énergie électrique dans toutes nos infrastructures qu'elles soient industrielles, hospitalières, ou éducatives. On pourra ainsi préserver une part de cette énergie fossile, aux générations futures.

BIBLIOGRAPHIE

[1]. Guide de l'installation électrique (format wiki) /Compensation pour accroître la Puissance disponible//installation électrique/ Schneider Electric

[2]. B. Khaled et Z. Hakim (Etude des compensateurs statique de l'énergie réactive SVC Dans un réseau électrique).2012

[3]. Chantouche (Condensateurs de puissance).juin 1996

[4]. R. Founie, JCPELLE (Condensateurs de puissance).2012

[5]. Guide de la compensation d'énergie réactive et du filtrage des harmonique Guides experts basse tension N° 6 / Schneider Electric /page 12-13

[6]. Guide de l'installation électrique (format wiki) / détection et atténuation des Harmoniques / définition des harmoniques./ Proposé par Schneider Electric

[7]. Compensation d'énergie réactive et contrôle de la qualité des réseaux électriques/ Catalogue Legrand EX210027/ PAGE 12

[8]. Guide de l'installation électrique (format wiki) / détection et atténuation des Harmoniques / définition des harmoniques./ Proposé par Schneider Electric

[9]. Compensation d'énergie réactive et contrôle de la qualité des réseaux électriques/ Catalogue Legrand EX210027/ PAGE 45ARAC

tan φ	cos φ	Puissance nominale du transformateur (en kVA)											
		100	160	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
0,00	1	100	160	250	315	400	500	**630**	800	1000	1250	1600	2000
0,20	0,98	98	157	245	309	392	490	**617**	784	980	1225	1568	1960
0,29	**0,96**	**96**	**154**	**240**	**302**	**384**	**480**	**605**	768	960	1200	1536	1920
0,36	0,94	94	150	235	296	376	470	**592**	752	940	1175	1504	1880
0,43	0,92	92	147	230	290	368	460	**580**	736	920	1150	1472	1840
0,48	0,90	90	144	225	284	360	450	**567**	720	900	1125	1440	1800
0,54	0,88	88	141	220	277	352	440	**554**	704	880	1100	1480	1760
0,59	0,86	86	138	215	271	344	430	**541**	688	860	1075	1376	1720
0,65	0,84	84	134	210	265	336	420	**529**	672	840	1050	1344	1680
0,70	0,82	82	131	205	258	328	410	**517**	656	820	1025	1312	1640
0,75	0,80	80	128	200	252	320	400	**504**	640	800	1000	1280	1600
0,80	0,78	78	125	195	246	312	390	**491**	624	780	975	1248	1560
0,86	0,76	76	122	190	239	304	380	**479**	608	760	950	1216	1520
0,91	0,74	74	118	185	233	296	370	**466**	592	740	925	1184	1480
0,96	**0,72**	**72**	**115**	**180**	**227**	**288**	**360**	**454**	576	720	900	1152	1440
1,02	0,70	70	112	175	220	280	350	441	560	700	875	1120	1400

Tableau -II-1- Puissance active en kW que peut débiter un transformateur à pleine charge en fonction du facteur de puissance

ANNEXE II.4