

**Rapport d'expertise suite aux mesures effectuées
sur la distribution électrique d'un site industriel présentant un phénomène de résonance
lors de la mise en service de batteries de condensateurs**

1. Instrumentation mise en œuvre :

Analyseurs harmoniques de réseau : Metrel PHS 50, Metrel 2192
Pincés ampèremétriques : Universal 1000 A AC, LEMFLEX 3000 A

2. Objet de l'étude

L'objet de cette étude est de fournir:

- un bilan de puissance et de qualité de l'énergie au sens de la norme EN50160 en sortie du transformateur de distribution HT/BT 1250 kVA
- l'analyse harmonique sur le site (compatibilité électromagnétique basse fréquence, norme EN50160) pour l'ensemble des départs principaux en sortie du transformateur HT/BT 1250 KVA du site
- l'analyse de la distribution ondulée alimentant vos charges informatiques sensibles
- l'analyse de la sélectivité sur le site

3. Mesures effectuées

Mesures aux temps longs fournissant le bilan de puissance et la qualité de l'énergie au sens de la norme EN50160 en sortie du transformateur de 1250 kVA avec échantillonnage des grandeurs toutes les 2 minutes sur une durée de 7 jours, et fourniture des valeurs maximales et minimales entre deux échantillons.

- Valeurs efficaces des tensions simples sur les trois phases
- Valeurs efficaces des courants dans les trois phases
- Puissances actives, réactives et apparentes et totales sur les trois phases
- Taux de distorsion harmonique en tension sur les trois phases
- Taux de distorsion harmonique en courant sur les trois phases
- Facteur de puissance pour les trois phases
- Fréquence
- Contributions des rangs 3, 5, 7, 9 et 11 des harmoniques de tension et de courant.

Mesures instantanées, en sortie du transformateur de 1250 kVA, ainsi que sur l'ensemble des départs principaux en sortie du transformateur.

- niveaux RMS de courants et de tensions pour les trois phases
- niveaux de puissances actives, réactives, déformantes et apparentes pour les trois phases et totales
- analyses spectrales des formes d'onde définissant les niveaux harmoniques en tension et en courant pour les 50 premiers rangs harmoniques
- taux de distorsion harmonique en tension et en courant pour les trois phases
- facteurs de déplacement pour les trois phases
- facteur de puissance pour les trois phases

L'ensemble de ces mesures est fourni en annexe du rapport.

4 Analyse et interprétation des mesures

4.1 Transformateur

Les niveaux de tension sur les trois phases en sortie des transformateurs ne présentent pas, au cours de l'observation en continu, d'écarts significatifs par rapport à une valeur moyenne comprise entre 227 V et 234 V.

Les taux de distorsion harmonique en tension se situent pour l'ensemble des relevés effectués, en valeur moyenne pour les trois phases, compris entre 8% et 10% en sortie du transformateur de distribution. Le rang le plus contribuant est le rang 11. Ces valeurs sont caractéristiques d'une tension fortement dégradée en termes d'harmoniques basses fréquences (>8%, cf EN50160).

4.1.1 Sortie transformateur, batteries de condensateurs non connectées

Les mesures mettent en évidence un niveau de charge tout à fait acceptable (502 kVA) au regard de la puissance nominale du transformateur.

La puissance réactive consommée sur le départ atteint 303 kVA (facteur de déplacement moyen pour les trois phases de 0,80), ce qui justifie la nécessité de la mise en œuvre de batteries de condensateurs, afin de relever le facteur de déplacement et d'éviter le paiement de pénalités pour la période de novembre à avril.

D'autre part, l'ensemble de la charge alimentée sur ce départ est génératrice de courant harmoniques, notamment sur les rangs 5 (17A par phase en moyenne), et 11 (36 A par phase en moyenne) au niveau de charge actuel.

4.1.2 Sortie transformateur, batteries de condensateurs connectées

La mise en service des condensateurs permet bien de :

- relever le facteur de déplacement à un niveau satisfaisant (0,93 en moyenne pour les trois phases) au regard des exigences du distributeur d'énergie (facteur de déplacement supérieur à 0,92 pour éviter le paiement des pénalités)
- diminuer les niveaux de courants efficaces dans les trois phases du transformateur (603 A, 595 A, 614 A contre 732 A, 722 A, 746 A)

Cependant, les analyses spectrales des courants instantanés mettent en évidence l'amplification excessive des harmoniques de rang 11 (550 Hz) qui passent de 36 A à respectivement 113 A, 131 A, 108 A pour chacune des phases.

Ce phénomène est aisément explicable par l'apparition, lors de la mise en service des condensateurs, d'un phénomène de résonance entre les condensateurs et les inductances de sortie des secondaires de transformateur cumulées aux inductances de lignes jusqu'au point de raccordement des batteries de condensateurs (voir figure 1 ci-dessous: schéma monophasé équivalent).

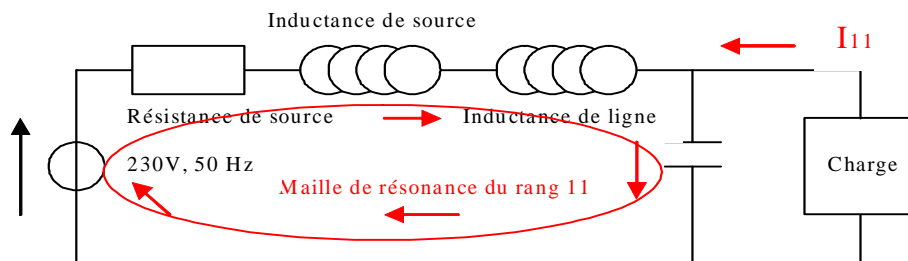


Figure 1 : schéma monophasé équivalent mettant en évidence la maille de résonance sur le rang 11 (550 Hz)

D'après les relevés effectués sur site, une estimation des paramètres mis en jeu dans l'interaction condensateurs + inductances a permis de justifier l'apparition d'une résonance en tension sur le rang 11 (voir figure 2 ci-dessous).

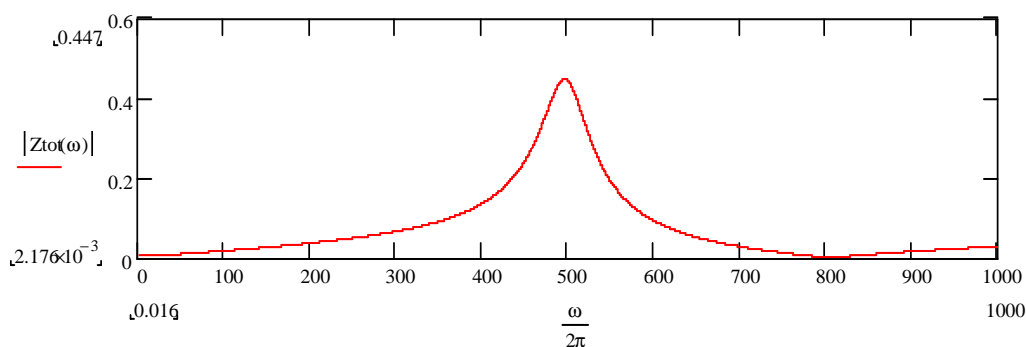


Figure 2 : Simulation mettant en évidence le phénomène de résonance sur le rang 11 (550 Hz) par phase

Les résultats obtenus pour chaque phase présentent un maximum au voisinage de 500 Hz fréquence voisine du rang 11 du 50 Hz sur lequel la résonance apparaît.

Par ailleurs, en fonctionnement normal, nous attirons votre attention sur le fait que les courants harmoniques circulant dans le transformateur appellent au déclassement de celui-ci.

Dans le cas où les batteries de condensateurs ne sont pas mises en service, les niveaux de courants harmoniques restent bas et le déclassement n'est pas significatif.

Par contre, lors de la mise en service des condensateurs, le phénomène de résonance observé, et qui engendre la circulation de courants harmoniques élevés dans la source, conduit à un déclassement du transformateur comme indiqué ci-dessous :

- Déclassement d'après la formule empirique fournie par le CENELEC (HD428.4 S1) :
Puissance apparente réelle appelée : 427 kVA pour une puissance apparente déclassée à 528 kVA avec prise en compte des harmoniques.

En conséquence la marge de sécurité pour le transformateur installé (1250 kVA) est largement suffisante en fonctionnement normal dans le niveau de charge actuel.

En l'absence de solution curative à ce problème, il est à noter qu'une augmentation du niveau de charge engendrerait une importante augmentation du phénomène de résonance sur l'harmonique de rang 11 qui impliquerait une importante dégradation de la tension d'alimentation du site.

4.2 Les différents départs

Les mesures concernant les différents départs ont été réalisées dans le TGBT principal.

4.2.1 Le départ TGBT1

	Tension (V)	Courant (A)	Puissance apparente (kVA)	Puissance active (kW)	Puissance réactive (kVAr)	Puissance déformante (kVAd)	Facteur de puissance	cosφ	Thd Tension	Thd Courant
Phase 1	232,17	71,68	16,64	12,99	9,45	4,35	0,78	0,81	5,95	26,28
Phase 2	231,99	70,72	16,41	12,98	8,67	5,04	0,79	0,84	6,23	30,55
Phase 3	232,39	71,39	16,59	12,37	9,82	5,07	0,75	0,79	5,64	30,34
Neutre		10,33								
Total			49,64	38,34	27,95	14,45				

L'équilibrage des tensions est bon. Le taux de distorsion harmonique en tension est en moyenne de 6%, ce qui témoigne d'une tension qui est relativement de mauvaise qualité du fait de la résonance sur l'harmonique de rang 11 comme nous l'avons expliqué dans le paragraphe précédent.

Le taux de distorsion harmonique en courant avoisine les 30 % et est principalement dû au problème de résonance sur l'harmonique de rang 11.

Le courant maximal relevé sur ce départ est de 71 A sur les phases 1 et 3. Le disjoncteur de tête de ce départ possède un calibre de 1000A réglé à 800A, en adéquation avec le besoin.

4.2.2 Le départ TGBT2

	Tension (V)	Courant (A)	Puissance apparente (kVA)	Puissance active (kW)	Puissance réactive (kVAr)	Puissance déformante (kVAd)	Facteur de puissance	cosφ	Thd Tension	Thd Courant
Phase 1	229,24	310,31	71,14	56,14	43,30	5,80	0,79	0,79	5,89	8,22
Phase 2	229,09	319,51	73,20	60,99	39,94	6,57	0,83	0,84	6,01	8,34
Phase 3	229,50	324,99	74,59	59,11	45,08	6,10	0,79	0,80	6,29	8,48
Neutre		15,48								
Total			218,92	176,24	128,31	18,47				

L'équilibrage des tensions est bon. Le taux de distorsion harmonique en tension est en moyenne de 6%, ce qui témoigne d'une tension qui est relativement de mauvaise qualité du fait de la résonance sur l'harmonique de rang 11.

Le taux de distorsion harmonique en courant, qui avoisine les 8,5 %, est relativement bas.

Le courant maximal relevé sur ce départ est de 325 A sur la phase 3. Le disjoncteur de tête de ce départ, qui possède un calibre de 1000A réglé à 800A, est adéquat avec le besoin.

4.2.3 Le départ TGBT3

	Tension (V)	Courant (A)	Puissance apparente (kVA)	Puissance active (kW)	Puissance réactive (kVAr)	Puissance déformante (kVAd)	Facteur de puissance	cosφ	Thd Tension	Thd Courant
Phase 1	232,64	177,20	41,22	34,34	22,24	5,03	0,83	0,84	6,04	12,52
Phase 2	232,53	172,68	40,15	33,39	21,67	5,28	0,83	0,84	6,32	13,21
Phase 3	232,91	170,94	39,81	33,31	21,15	5,31	0,84	0,85	5,70	13,02
Neutre		10,99								
Total			121,19	101,04	65,06	15,63				

L'équilibrage des tensions est bon. Le taux de distorsion harmonique en tension est en moyenne de 6%, ce qui témoigne d'une tension qui est relativement de mauvaise qualité du fait de la résonance sur l'harmonique de rang 11.

Le taux de distorsion harmonique en courant, qui est aux alentours de 13 %, est relativement bas.

Le courant maximal relevé sur ce départ est de 177,2A sur la phase 1. Le disjoncteur de tête de ce départ, qui possède un calibre de 1000A réglé à 700A, est adéquat avec le besoin.

4.2.4 Le départ TGBT4

	Tension (V)	Courant (A)	Puissance apparente (kVA)	Puissance active (kW)	Puissance réactive (kVAr)	Puissance déformante (kVAd)	Facteur de puissance	cosφ	Thd Tension	Thd Courant
Phase 1	228,62	180,39	41,24	30,93	27,03	3,69	0,75	0,75	5,79	7,23
Phase 2	228,43	171,19	39,11	31,21	23,25	3,82	0,80	0,80	5,93	8,07
Phase 3	229,01	177,00	40,53	30,99	25,83	3,88	0,76	0,77	6,17	8,33
Neutre		19,19								
Total			120,88	93,14	76,11	11,39				

L'équilibrage des tensions est bon. Le taux de distorsion harmonique en tension est en moyenne de 6%, ce qui témoigne d'une tension qui est relativement de mauvaise qualité du fait de la résonance sur l'harmonique de rang 11.

Le taux de distorsion harmonique en courant, qui est aux alentours de 8 %, est relativement bas.

Le courant maximal relevé sur ce départ est de 180,4A sur la phase 1. Le disjoncteur de tête de ce départ, qui possède un calibre de 1000A réglé à 1000A, est adéquat avec le besoin.

4.3 Les départs ondulés

4.3.1 Le départ Réseau 1 Onduleur 1

	Tension (V)	Courant (A)	Puissance apparente (kVA)	Puissance active (kW)	Puissance réactive (kVAr)	Puissance déformante (kVAd)	Facteur de puissance	cosφ	Thd Tension	Thd Courant
Phase 1	231,93	64,78	15,02	10,50	9,60	4,83	0,70	0,75	8,67	29,86
Phase 2	230,82	67,59	15,60	11,88	8,97	4,69	0,76	0,81	8,93	26,15
Phase 3	231,73	71,28	16,52	11,81	10,56	4,67	0,72	0,75	6,58	26,25
Neutre		4,70								
Total			47,14	34,19	29,13	14,18				

L'équilibrage des tensions est bon. Le taux de distorsion harmonique en tension est en moyenne de 8%, ce qui témoigne d'une tension qui est relativement de mauvaise qualité du fait de la résonance sur l'harmonique de rang 11.

Le taux de distorsion harmonique en courant, qui est aux alentours de 27 %, est correct et est principalement dû au problème de résonance sur l'harmonique de rang 11.

Le courant maximal relevé sur ce départ est de 71,3A sur la phase 3. Le disjoncteur de tête de ce départ, qui possède un calibre de 630A réglé à 630A, est adéquat avec le besoin.

De plus, le niveau de charge mesuré est bas (47kVA) devant la puissance nominale de l'onduleur qui est de 300kVA.

4.3.2 Le départ Réseau 1 Onduleur 2

	Tension (V)	Courant (A)	Puissance apparente (kVA)	Puissance active (kW)	Puissance réactive (kVAr)	Puissance déformante (kVAd)	Facteur de puissance	cosφ	Thd Tension	Thd Courant
Phase 1	232,53	172,06	40,01	32,06	23,34	5,32	0,80	0,81	8,70	12,64
Phase 2	230,69	182,54	42,11	34,25	23,85	5,62	0,81	0,82	9,14	12,22
Phase 3	231,37	182,25	42,17	33,04	25,75	4,82	0,78	0,79	6,70	11,37
Neutre		5,99								
Total			124,29	99,35	72,94	15,75				

L'équilibrage des tensions est bon. Le taux de distorsion harmonique en tension est en moyenne de 8%, ce qui témoigne d'une tension qui est relativement de mauvaise qualité du fait de la résonance sur l'harmonique de rang 11.

Le taux de distorsion harmonique en courant, qui est aux alentours de 12 %, est relativement bas.

Le courant maximal relevé sur ce départ est de 182A sur les phases 2 et 3. Le disjoncteur de tête de ce départ, qui possède un calibre de 630A réglé à 630A, est adéquat avec le besoin.

Le niveau de charge mesuré (124kVA) correspond à un peu moins de la moitié de la puissance nominale de l'onduleur qui est de 300kVA.

Les mesures ci-dessus et celles du paragraphe précédent mettent en évidence que la répartition de charge entre l'onduleur 1 et l'onduleur 2 n'est pas réalisée. Cette situation particulière est connue du responsable de maintenance du site qui nous a indiqué qu'elle résultait d'une configuration définie par la société Chloride fournisseur des onduleurs (Voir commentaire fin paragraphe 4.3.4).

4.3.3 Le départ Réseau 1 Onduleur 3

	Tension (V)	Courant (A)	Puissance apparente (kVA)	Puissance active (kW)	Puissance réactive (kVAr)	Puissance déformante (kVAd)	Facteur de puissance	cosφ	Thd Tension	Thd Courant
Phase 1	231,29	121,24	28,04	21,85	16,89	4,84	0,78	0,80	8,15	16,70
Phase 2	236,74	114,70	27,16	20,58	16,75	5,77	0,76	0,78	9,05	16,87
Phase 3	226,90	120,43	27,33	21,45	16,16	5,03	0,79	0,80	8,85	15,74
Neutre		10,77								
Total			82,52	63,89	49,80	15,64				

Ce départ présente un déséquilibre en tension. Le taux de distorsion harmonique en tension est en moyenne de 8%, ce qui témoigne d'une tension qui est relativement de mauvaise qualité du fait de la résonance sur l'harmonique de rang 11.

Le taux de distorsion harmonique en courant, qui est aux alentours de 16 %, est relativement bas.

Le courant maximal relevé sur ce départ est de 121A sur la phase 1. Le disjoncteur de tête de ce départ, qui possède un calibre de 630A réglé à 630A, est en adéquation avec le besoin.

Le niveau de charge mesuré (82,5kVA) est bas devant la puissance nominale de l'onduleur (300kVA).

4.3.4 Le départ Réseau 1 Onduleur 4

	Tension (V)	Courant (A)	Puissance apparente (kVA)	Puissance active (kW)	Puissance réactive (kVAr)	Puissance déformante (kVAd)	Facteur de puissance	cosφ	Thd Tension	Thd Courant
Phase 1	231,48	66,17	15,32	9,89	10,75	4,59	0,65	0,69	8,18	29,98
Phase 2	237,08	60,02	14,23	10,68	7,98	4,97	0,75	0,81	9,00	30,07
Phase 3	227,32	73,38	16,68	12,31	10,15	4,86	0,74	0,78	8,76	26,12
Neutre		5,41								
Total			46,23	32,89	28,88	14,43				

Ce départ présente un déséquilibre en tension. Le taux de distorsion harmonique en tension est en moyenne de 8%, ce qui témoigne d'une tension qui est relativement de mauvaise qualité du fait de la résonance sur l'harmonique de rang 11.

Le taux de distorsion harmonique en courant, qui est aux alentours de 30%, est correct et est principalement dû au problème de résonance sur l'harmonique de rang 11.

Le courant maximal relevé sur ce départ est de 73,4A sur la phase 3. Le disjoncteur de tête de ce départ, qui possède un calibre de 630A réglé à 630A, est adéquat avec le besoin.

Le niveau de charge mesuré (46,2kVA) est bas devant la puissance nominale de l'onduleur (300kVA).

De même que pour les onduleurs 1 et 2, les mesures ci-dessus et celles du paragraphe précédent mettent en évidence que la répartition de charge entre l'onduleur 3 et l'onduleur 4 n'est pas réalisée.

Aux vus de ces résultats, nous sommes entrés en contact avec le technicien Chloride responsable de la maintenance des onduleurs du site.

Celui-ci nous a signalé que cette situation est liée au faible taux de charge actuel et qu'en aucun cas, cette situation n'est pénalisante pour le bon fonctionnement du système.

Le technicien Chloride nous a précisé qu'à l'occasion de la maintenance préventive biannuelle prévue en troisième semaine d'octobre, il procédera, à ce moment là, aux réglages les mieux adaptés.

4.3.5 Sortie commune Onduleur 1 et 2

	Tension (V)	Courant (A)	Puissance apparente (kVA)	Puissance active (kW)	Puissance réactive (kVAr)	Puissance déformante (kVAd)	Facteur de puissance	cosφ	Thd Tension	Thd Courant
Phase 1	230,08	161,05	37,05	33,95	-13,00	7,17	0,92	0,93	3,05	17,72
Phase 2	229,68	176,16	40,46	37,25	-13,59	8,03	0,92	0,94	2,51	18,55
Phase 3	230,01	196,70	45,24	41,88	-15,12	8,03	0,93	0,94	2,57	16,61
Neutre		93,95								
Total			122,76	113,08	-41,70	23,23				

L'équilibrage des tensions est bon. Le taux de distorsion harmonique en tension est en moyenne entre 2% et 3%, ce qui témoigne d'une tension de bonne qualité.

Un déséquilibre en courant est présent et une meilleure répartition de la charge est à prévoir afin d'y remédier.

Le niveau de charge mesuré (122,76kVA) est bas devant la puissance nominale du groupe d'onduleurs (600kVA puissance prévisionnelle à 300 kVA pour assurer une redondance 1 + 1). Celui-ci est à 40% de son taux de charge nominal dans son fonctionnement prévisionnel nominal.

4.3.6 Sortie commune Onduleur 3 et 4

	Tension (V)	Courant (A)	Puissance apparente (kVA)	Puissance active (kW)	Puissance réactive (kVAr)	Puissance déformante (kVAd)	Facteur de puissance	cosφ	Thd Tension	Thd Courant
Phase 1	230,28	135,77	31,27	27,35	-14,48	4,44	0,87	0,88	2,90	13,48
Phase 2	230,28	1,34	0,31	-0,05	0,01	0,30	-0,17	-0,97	2,78	29,93
Phase 3	230,38	1,59	0,37	-0,01	0,00	0,37	-0,04	-0,96	2,97	55,29
Neutre		136,00								
Total			31,94	27,28	-14,47	5,11				

L'équilibrage des tensions est bon. Cependant, il apparaît que seule la phase 1 du jeu de barres commun est chargée.

De ce fait, la charge à venir en sortie de ces onduleurs sera à répartir sur les deux autres phases afin d'équilibrer les niveaux de courants.

Le niveau de charge mesuré (31,94 kVA) est bas devant la puissance nominale du groupe d'onduleurs (600 kVA mais puissance prévisionnelle à 300 kVA pour assurer une redondance 1 + 1). Celui-ci est à 21% de son taux de charge nominal dans son fonctionnement prévisionnel nominal.

Le tableau ci-dessous résume les niveaux de courants actuels de courants en sortie des quatre onduleurs (niveaux de courants du 29/09/2005, c'est-à-dire quinze jours après notre campagne de mesure) :

	Courant Phase 1 (A)	Courant Phase 2 (A)	Courant Phase3 (A)
Onduleur 1	57	21	34
Onduleur 2	99	154	150
Onduleur 3	114	55	107
Onduleur 4	18	62	29

Ces mesures confirment bien la non répartition de charge aussi bien entre les onduleurs 1 et 2 qu'entre les onduleurs 3 et 4.

Cependant, il apparaît que la phase 1 ne soit plus la seule phase à alimenter la charge prévue comme nous l'avions remarqué lors de nos mesures.

Cette constatation nous a été confirmée par le responsable de maintenance du site qui nous a signalé que plusieurs baies ont été installées depuis notre campagne de mesures.

4.3.7 Le départ Réseau 2 Onduleur Chaîne 1

	Tension (V)	Courant (A)	Puissance apparente (kVA)	Puissance active (kW)	Puissance réactive (kVAR)	Puissance déformante (kVAd)	Facteur de puissance	cosφ	Thd Tension	Thd Courant
Phase 1	228,73	13,37	3,06	0,69	2,93	0,54	0,23	0,23	5,83	17,21
Phase 2	229,24	9,40	2,16	-0,15	2,00	0,80	-0,07	-0,08	5,68	34,37
Phase 3	230,68	9,37	2,16	1,05	1,72	0,79	0,48	0,52	5,18	34,88
Neutre		3,57								
Total			7,38	1,59	6,65	2,12				

Les mesures effectuées sur ce départ correspondent à la magnétisation du transformateur d'isolement, TR1, de 630 kVA. Les onduleurs 1 et 2 étant alimentés par le réseau 1, le transformateur se trouve alors en configuration « à vide » et appelle des courants réactifs. De plus, nous retrouvons la répercussion de la résonance au niveau des tensions sur ce départ.

4.3.8. Le départ Réseau 2 Onduleur Chaîne 2

	Tension (V)	Courant (A)	Puissance apparente (kVA)	Puissance active (kW)	Puissance réactive (kVAR)	Puissance déformante (kVAd)	Facteur de puissance	cosφ	Thd Tension	Thd Courant
Phase 1	229,48	14,71	3,38	0,70	3,25	0,55	0,21	0,21	5,72	16,26
Phase 2	230,15	9,96	2,29	-0,27	2,09	0,90	-0,12	-0,13	5,84	36,96
Phase 3	231,42	10,30	2,38	1,21	1,83	0,93	0,51	0,55	5,22	37,77
Neutre		3,60								
Total			8,05	1,65	7,18	2,38				

Les mesures effectuées sur ce départ correspondent à la magnétisation du transformateur d'isolement, TR2, de 630 kVA. Les onduleurs 3 et 4 étant alimentés par le réseau 1, le transformateur se trouve alors en configuration « à vide » et appelle des courants réactifs. De plus, nous retrouvons la répercussion de la résonance au niveau des tensions sur ce départ.

5 Conclusions

Au niveau du transformateur :

- ✓ Des problèmes de CEM basse fréquence sont présents sur le site, notamment du fait de l'interaction entre les batteries de condensateurs installés sur le jeu de barres en sortie du transformateur et les inductances (de source et de lignes). Celle-ci crée une résonance sur l'harmonique de rang 11.
- ✓ La sélectivité est assurée entre le disjoncteur du transformateur et les différents départs qu'il alimente.

Au niveau des différents départs :

- ✓ Une dégradation de la qualité de la tension est présente sur tous les départs. Celle-ci est expliquée par la présence de la résonance sur l'harmonique de rang 11.
- ✓ La sélectivité des différents départs est validée et ne présente pas de commentaires ni de prescriptions particulières.

Au niveau des onduleurs :

- ✓ Il apparaît que les deux groupes d'onduleurs 1-2 et 3-4 ne se répartissent pas la charge. Il conviendrait de procéder aux réglages permettant une meilleure répartition ce qui sera effectué par le technicien responsable de la maintenance des onduleurs du site lors de la troisième semaine d'octobre.
- ✓ Les niveaux de charge actuels, sur les groupes d'onduleurs, sont bas devant la capacité de charge des onduleurs (300kVA par groupe avec redondance 1+1).
 - Charge du groupe onduleurs 1-2 :40% de charge
 - Charge du groupe onduleurs 3-4 :21% de charge
- ✓ La sélectivité des différents départs est validée et ne présente pas de commentaires ni de prescriptions particulières.

Recommandations :

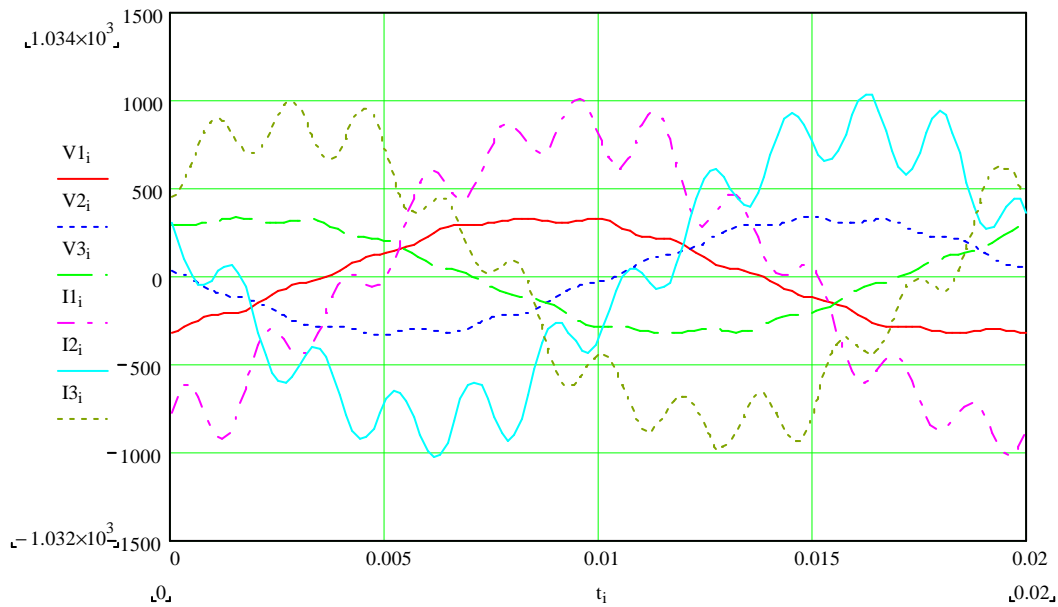
Afin de corriger le phénomène de l'harmonique de rang 11, nous vous conseillons d'une part :

- De vérifier si les batteries installées sur le site sont de type « renforcées » en ce qui concerne les problèmes de CEM basse fréquence (harmoniques). Dans le cas contraire, il conviendra de procéder à une modification des batteries actuellement installées ou de supprimer la compensation d'énergie réactive ce qui vous amènerait à payer des indemnités pour consommation de réactif entre novembre et avril.

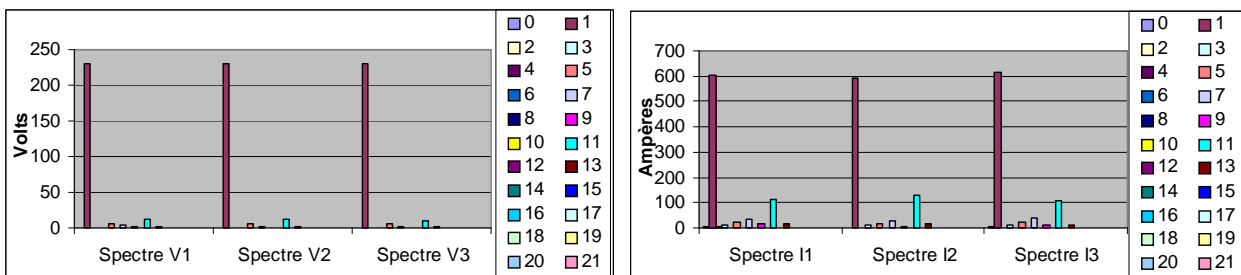
Annexes

SORTIE TRANSFORMATEUR

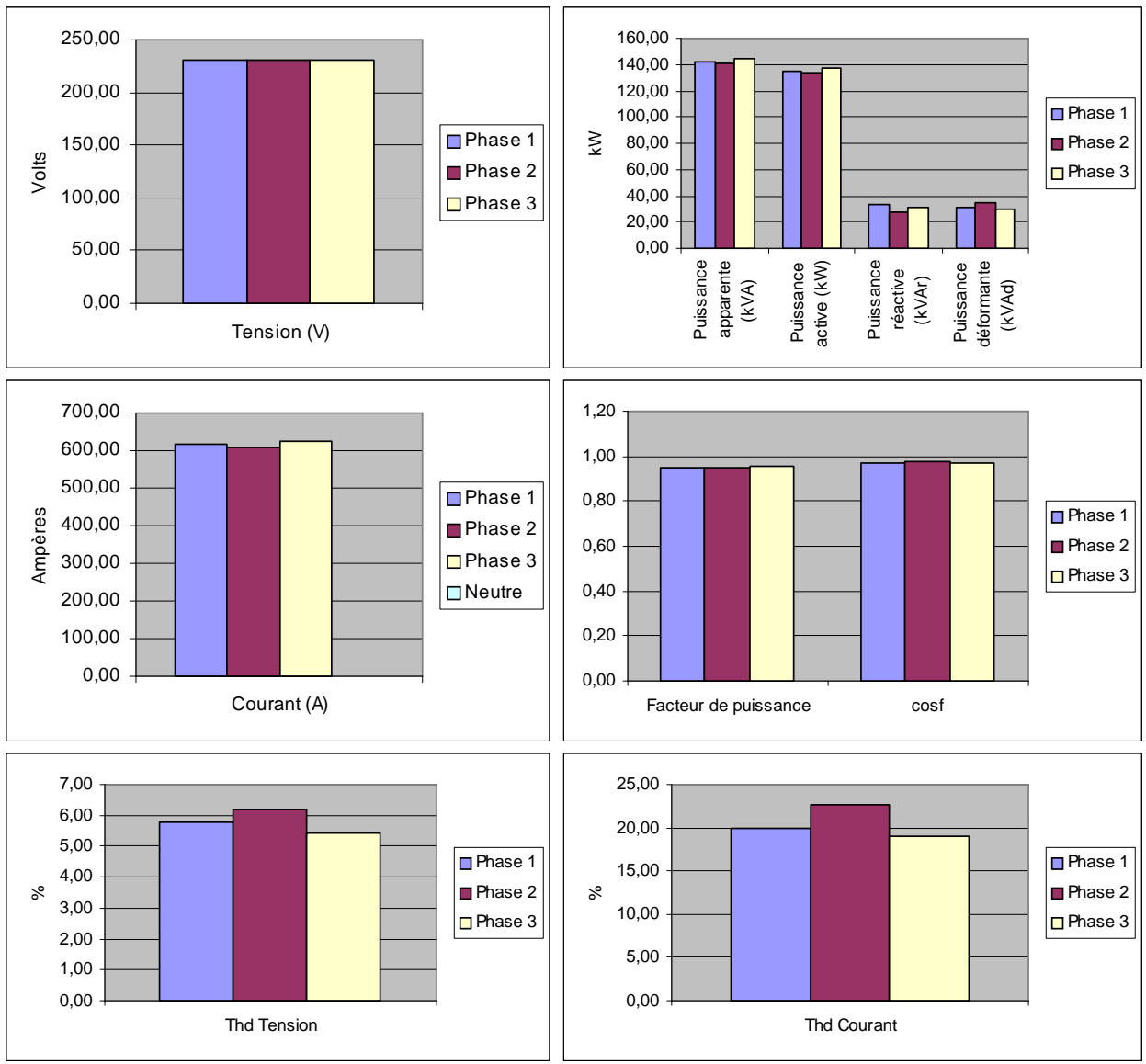
	Tension (V)	Courant (A)	Puissance apparente (kVA)	Puissance active (kW)	Puissance réactive (kVAr)	Puissance déformante (kVA _d)	Facteur de puissance	cosφ	Thd Tension	Thd Courant
Phase 1	231,03	615,46	142,19	134,61	33,29	31,46	0,95	0,97	5,80	19,89
Phase 2	230,68	610,30	140,78	133,59	27,45	34,94	0,95	0,98	6,18	22,60
Phase 3	231,30	625,32	144,64	137,88	31,38	30,39	0,95	0,97	5,41	19,06
Neutre		17,08								
Total			427,61	406,08	92,12	96,79				



Formes d'ondes des tensions et des courants en sortie du transformateur



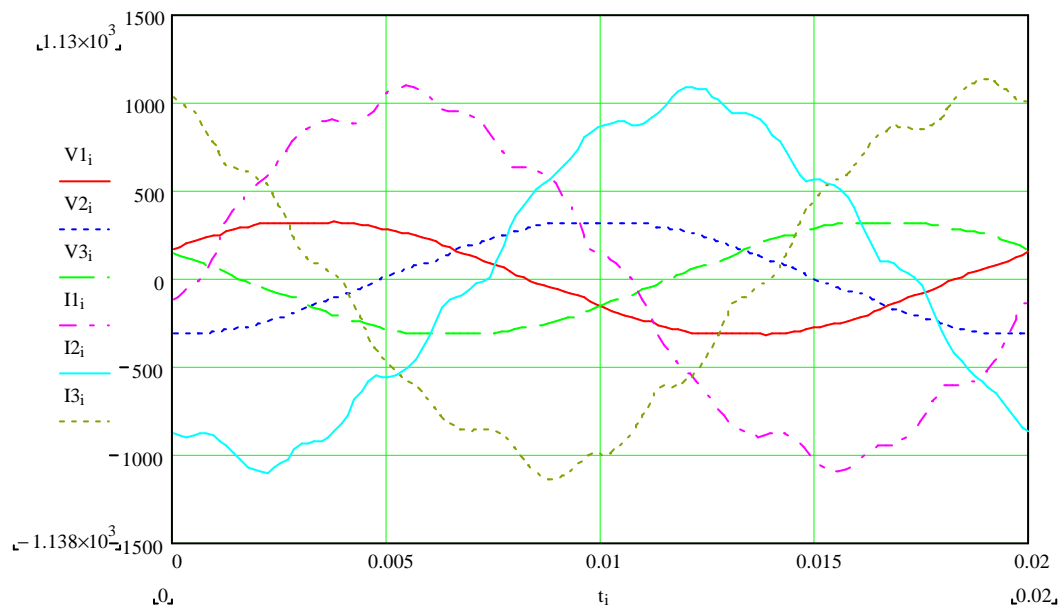
Analyses spectrales des ondes de tensions et de courants en sortie du transformateur



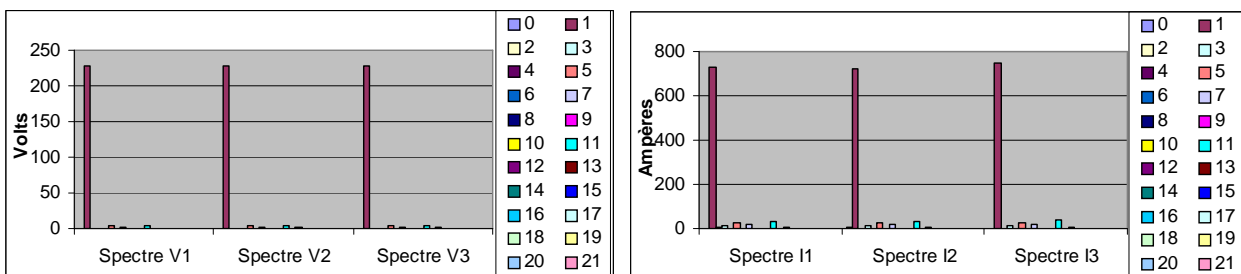
Caractéristiques principales des ondes de tensions et de courants en sortie du transformateur

SORTIE TRANSFORMATEUR (sans condensateurs)

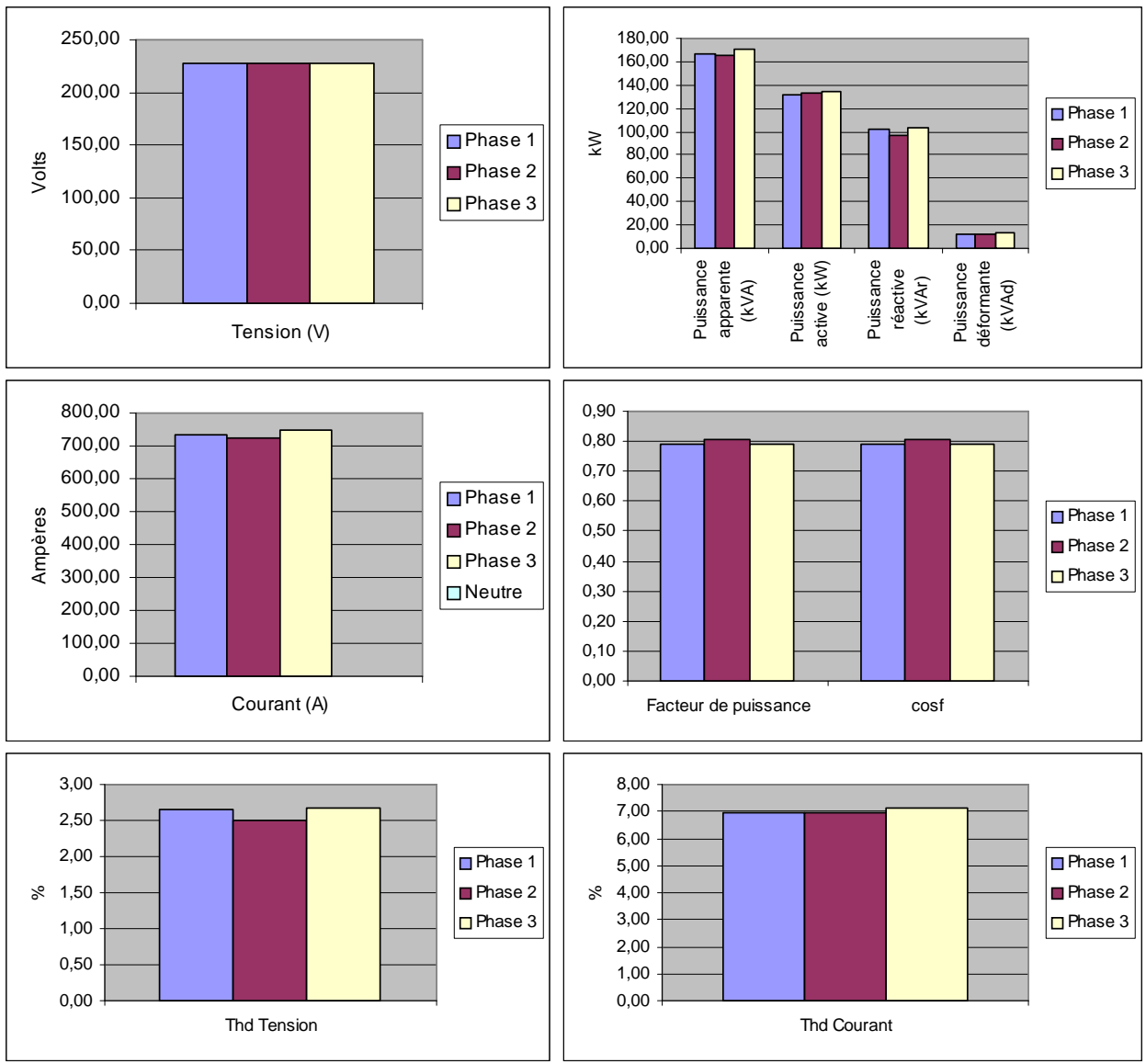
	Tension (V)	Courant (A)	Puissance apparente (kVA)	Puissance active (kW)	Puissance réactive (kVAr)	Puissance déformante (kVAd)	Facteur de puissance	cosφ	Thd Tension	Thd Courant
Phase 1	227,47	733,97	166,96	131,50	102,08	12,75	0,79	0,79	2,65	6,96
Phase 2	227,39	724,29	164,70	132,42	97,14	12,51	0,80	0,81	2,51	6,96
Phase 3	227,76	747,71	170,30	134,41	103,76	13,09	0,79	0,79	2,68	7,11
Neutre		21,33								
Total			501,96	398,32	302,97	38,35				



Formes d'ondes des tensions et des courants en sortie du transformateur sans les condensateurs



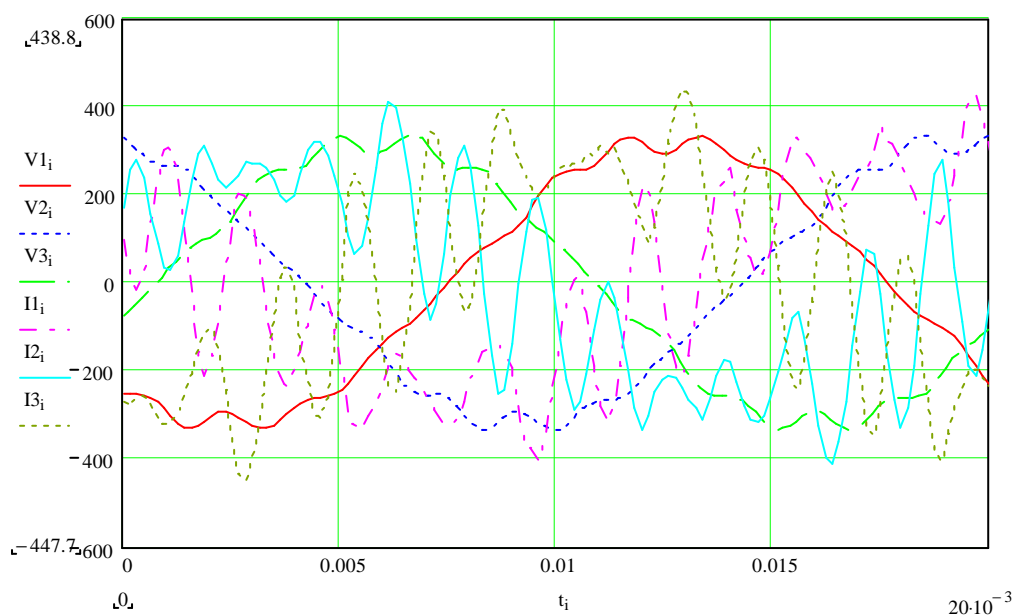
Analyses spectrales des ondes de tensions et de courants en sortie du transformateur sans les condensateurs



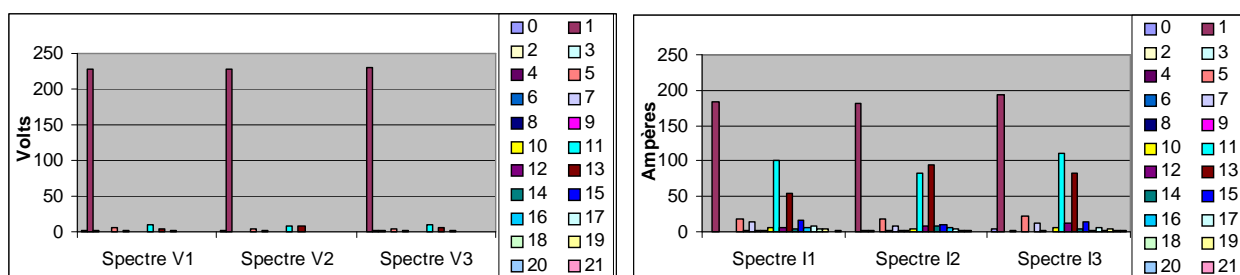
Caractéristiques principales des ondes de tensions et de courants en sortie du transformateur sans les condensateurs

CONDENSATEURS

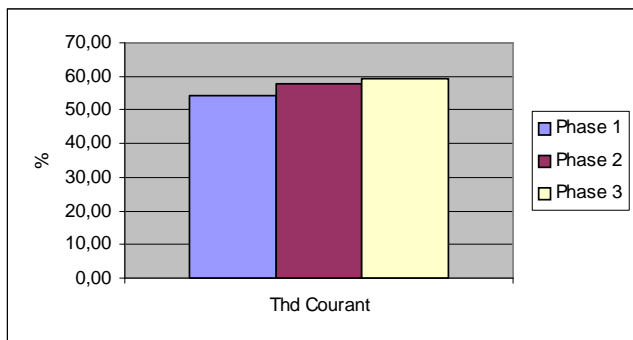
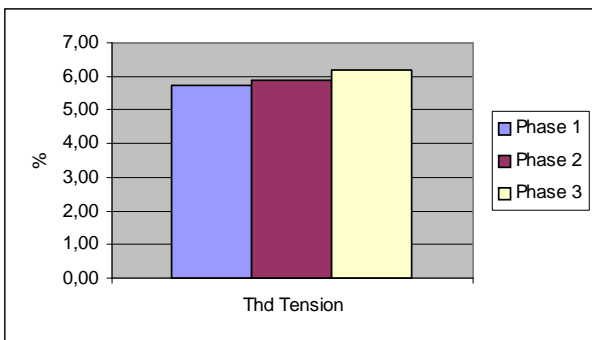
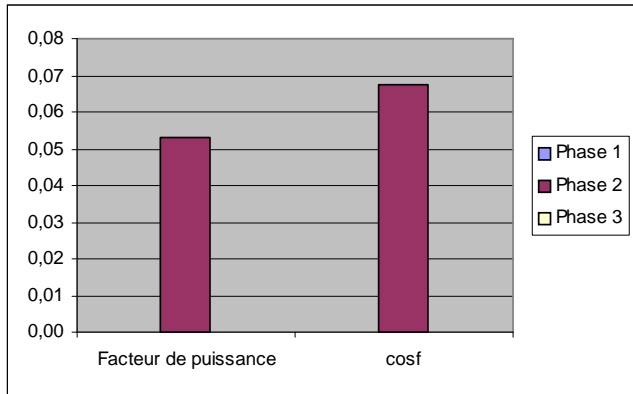
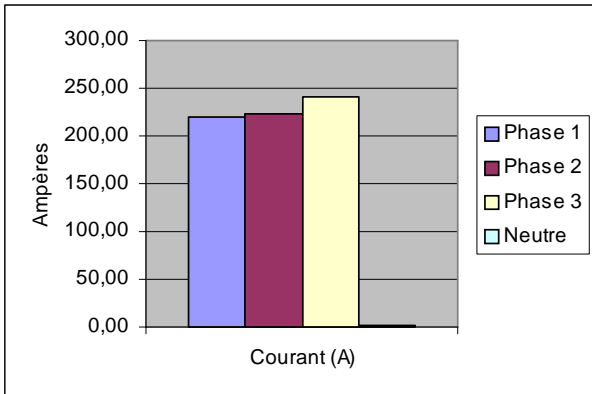
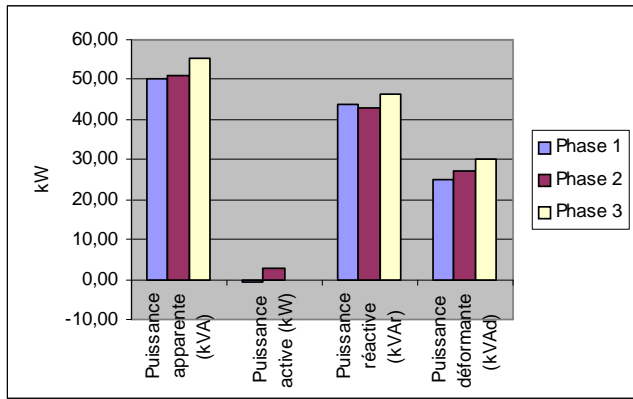
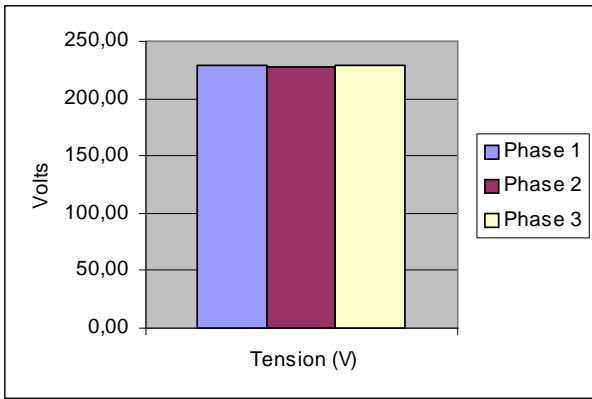
	Tension (V)	Courant (A)	Puissance apparente (kVA)	Puissance active (kW)	Puissance réactive (kVAR)	Puissance déformante (kVAd)	Facteur de puissance	cosφ	Thd Tension	Thd Courant
Phase 1	229,03	219,63	50,30	-0,80	43,60	25,07	-0,02	-0,02	5,75	54,43
Phase 2	228,34	222,82	50,88	2,69	42,99	27,08	0,05	0,07	5,86	57,88
Phase 3	229,80	241,47	55,49	-0,32	46,54	30,22	-0,01	-0,01	6,18	59,28
Neutre		15,42								
Total			156,67	1,58	133,13	82,36				



Formes d'ondes des tensions et des courants au niveau des condensateurs



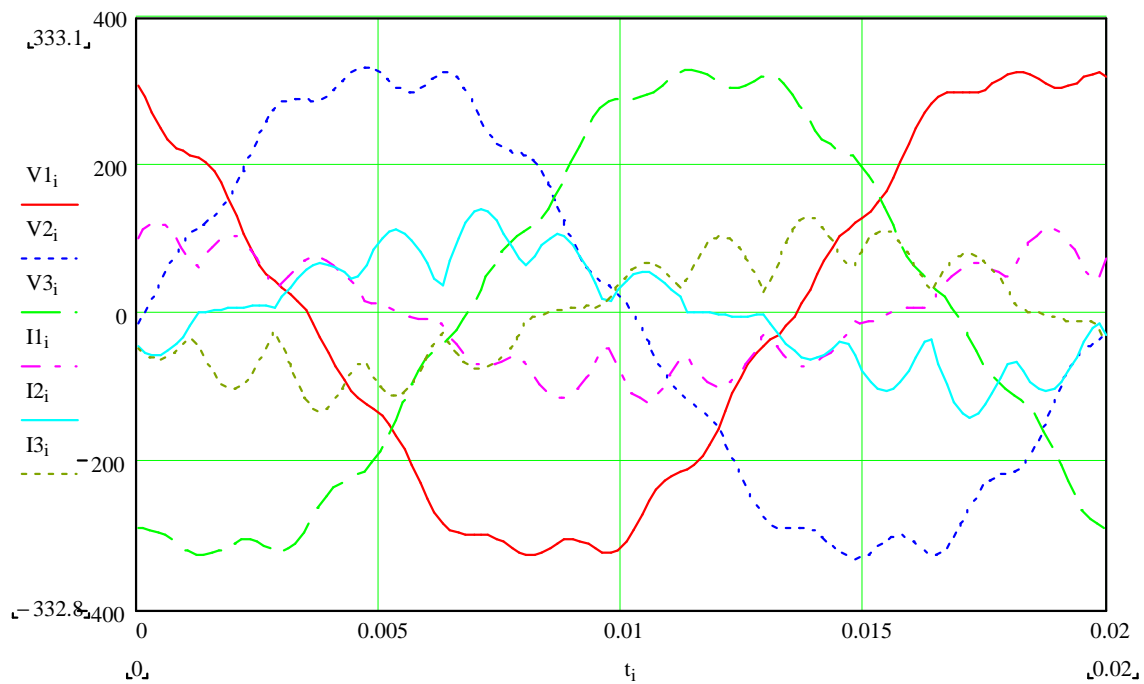
Caractéristiques principales des ondes de tensions et de courants niveau des condensateurs



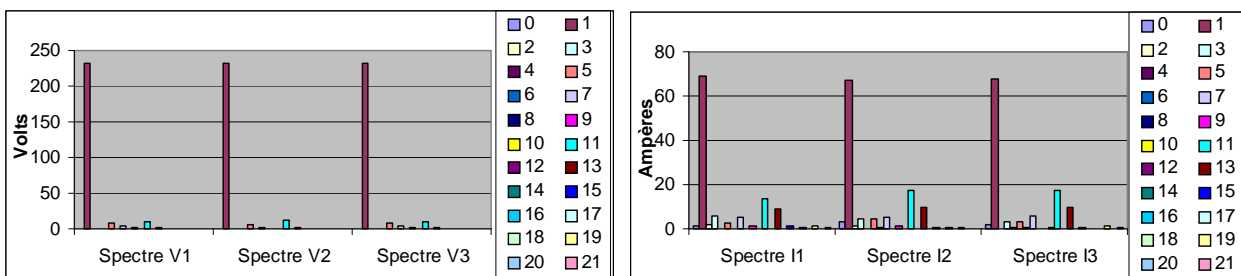
Caractéristiques principales des ondes de tensions et de courants en sortie au niveau des condensateurs

TGBT 1

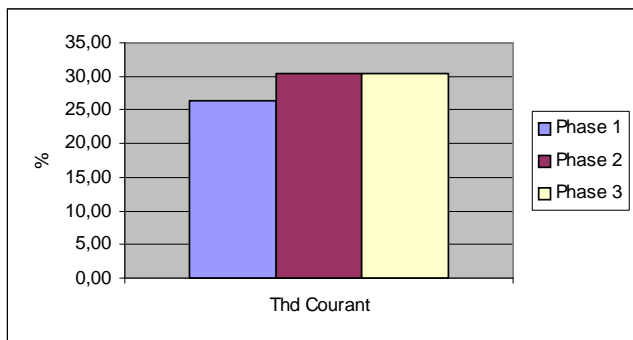
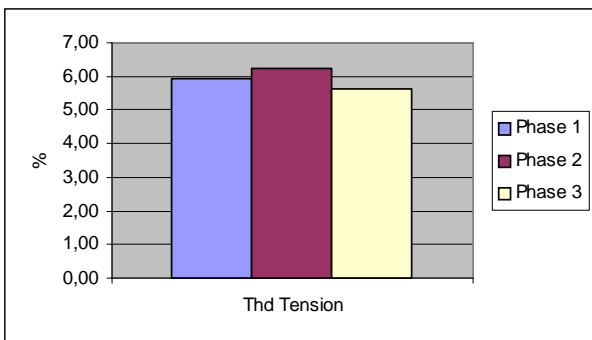
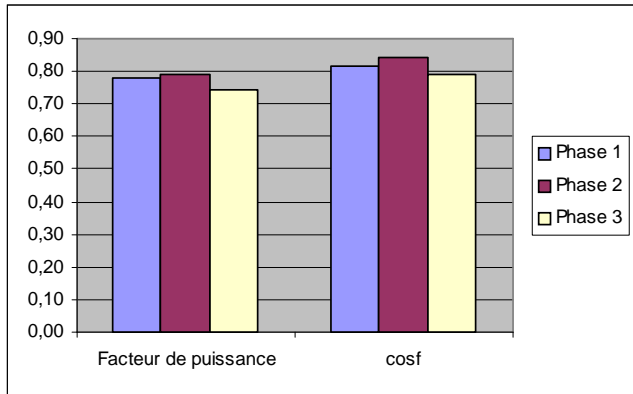
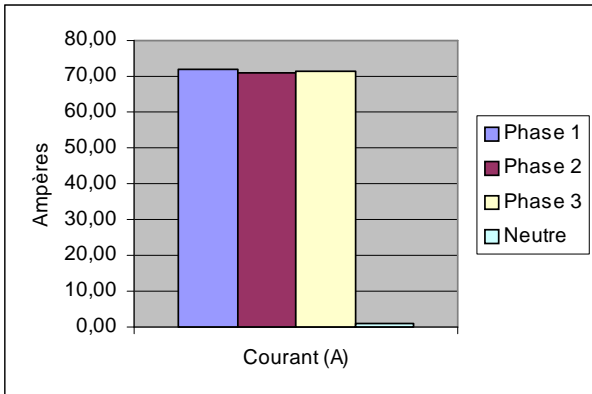
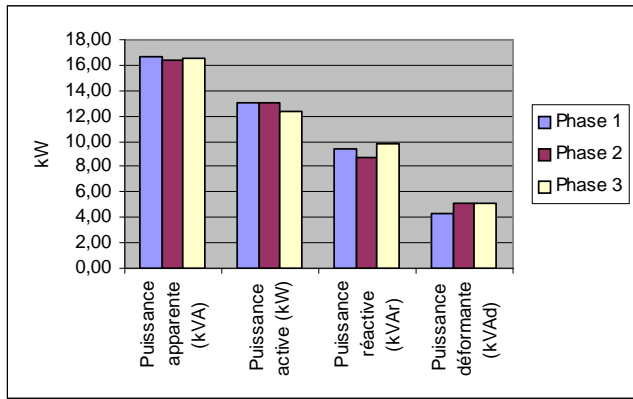
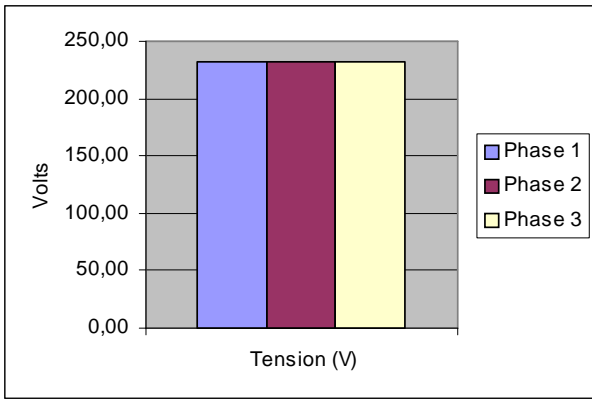
	Tension (V)	Courant (A)	Puissance apparente (kVA)	Puissance active (kW)	Puissance réactive (kVAR)	Puissance déformante (kVAd)	Facteur de puissance	cosφ	Thd Tension	Thd Courant
Phase 1	232,17	71,68	16,64	12,99	9,45	4,35	0,78	0,81	5,95	26,28
Phase 2	231,99	70,72	16,41	12,98	8,67	5,04	0,79	0,84	6,23	30,55
Phase 3	232,39	71,39	16,59	12,37	9,82	5,07	0,75	0,79	5,64	30,34
Neutre		10,33								
Total			49,64	38,34	27,95	14,45				



Formes d'ondes des tensions et des courants en sortie du départ TGBT1



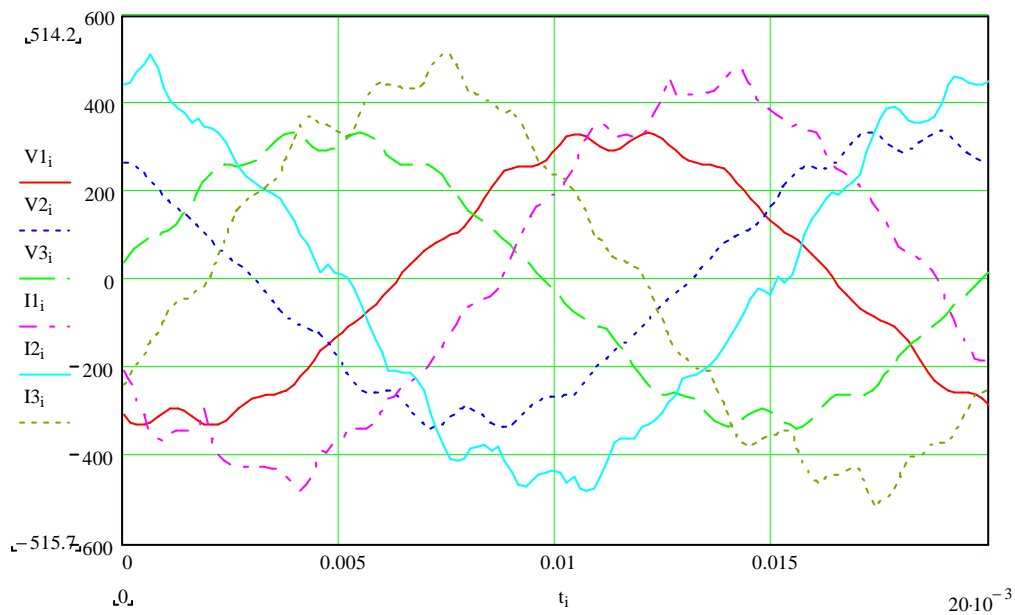
Analyses spectrales des ondes de tensions et de courants en sortie du départ TGBT1



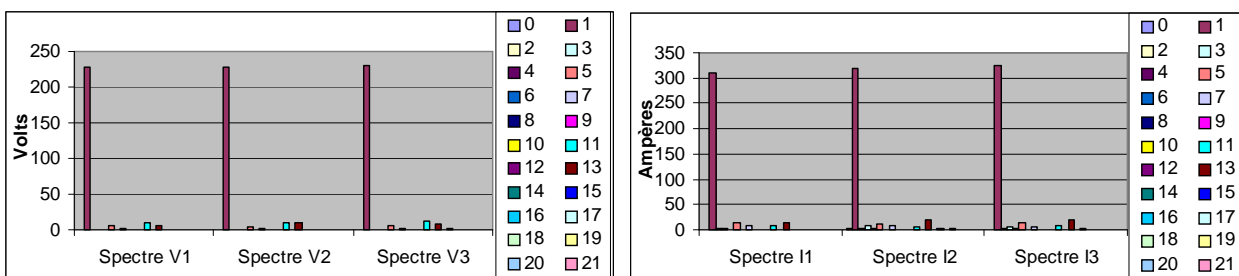
Caractéristiques principales des ondes de tensions et de courants en sortie du départ TGBT1

TGBT 2

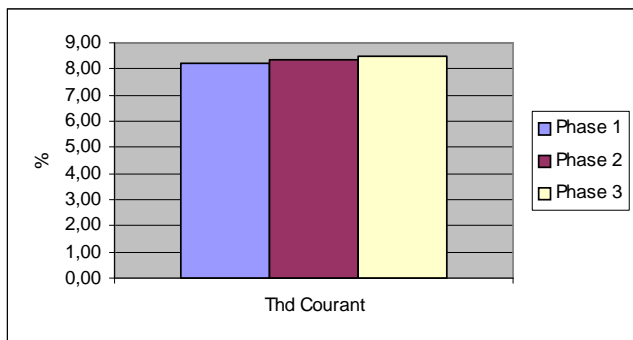
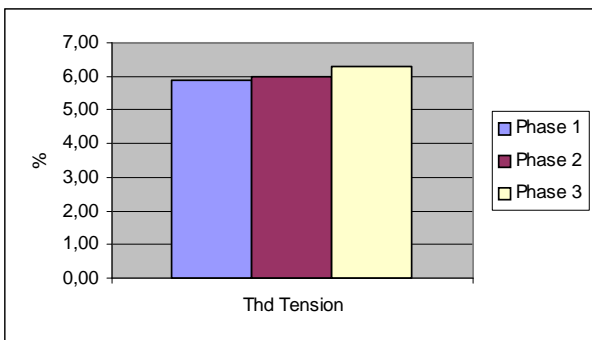
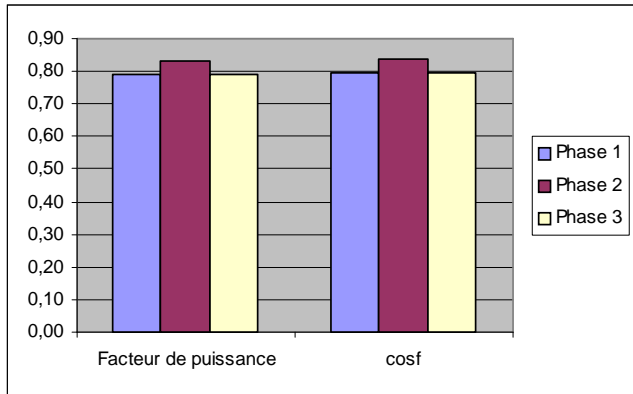
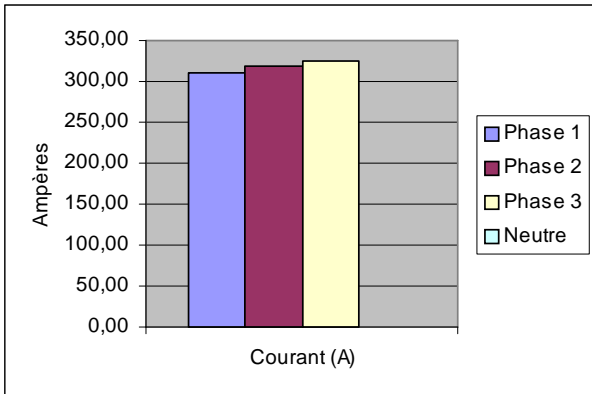
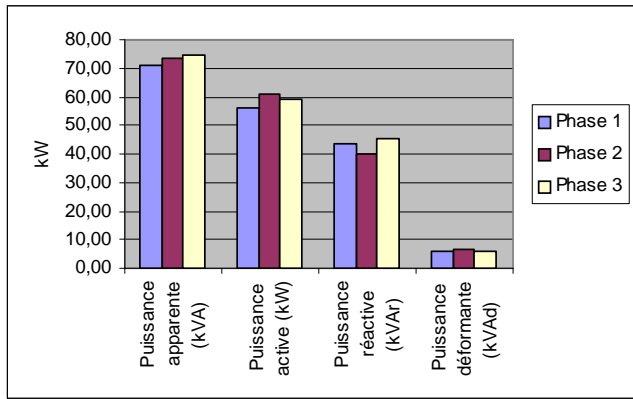
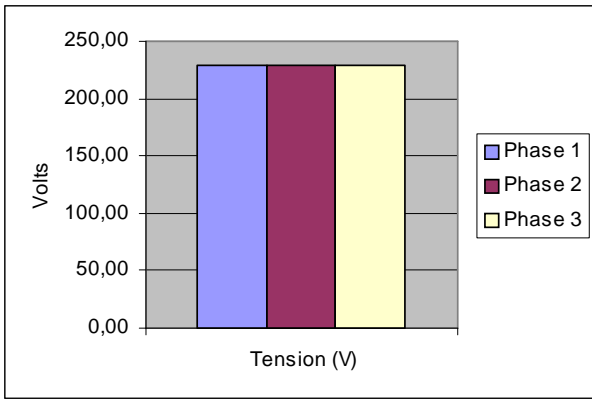
	Tension (V)	Courant (A)	Puissance apparente (kVA)	Puissance active (kW)	Puissance réactive (kVAr)	Puissance déformante (kVAd)	Facteur de puissance	cosφ	Thd Tension	Thd Courant
Phase 1	229,24	310,31	71,14	56,14	43,30	5,80	0,79	0,79	5,89	8,22
Phase 2	229,09	319,51	73,20	60,99	39,94	6,57	0,83	0,84	6,01	8,34
Phase 3	229,50	324,99	74,59	59,11	45,08	6,10	0,79	0,80	6,29	8,48
Neutre		15,48								
Total			218,92	176,24	128,31	18,47				



Formes d'ondes des tensions et des courants en sortie du départ TGBT2



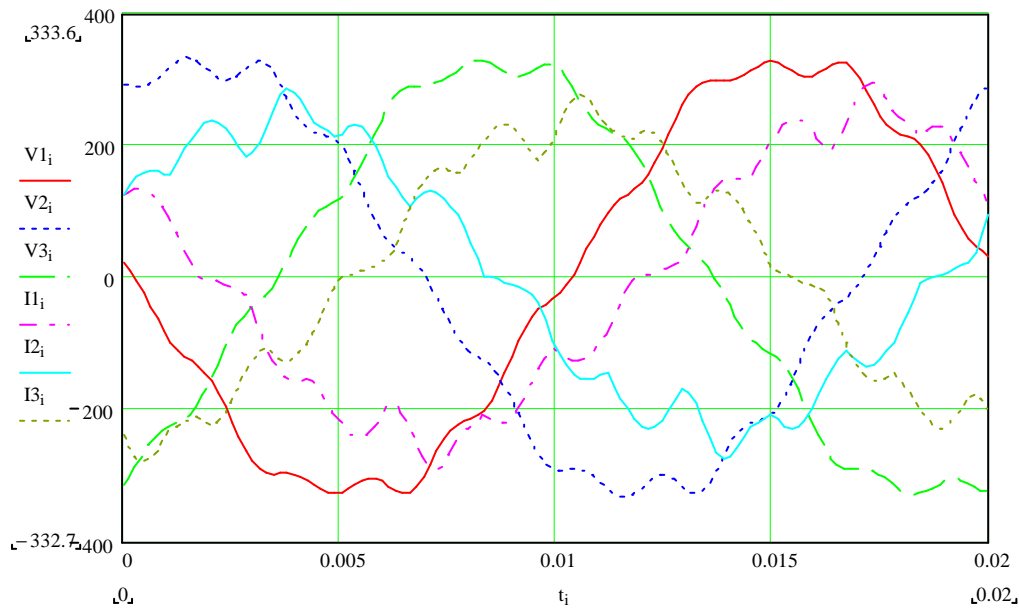
Analyses spectrales des ondes de tensions et de courants en sortie du départ TGBT2



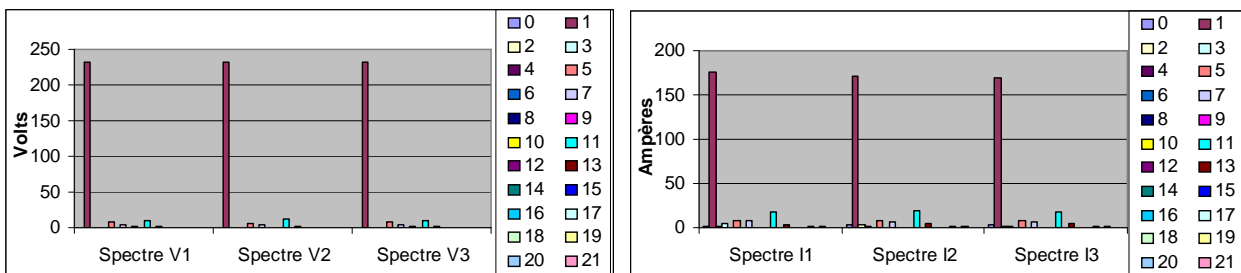
Caractéristiques principales des ondes de tensions et de courants en sortie du départ TGBT2

TGBT 3

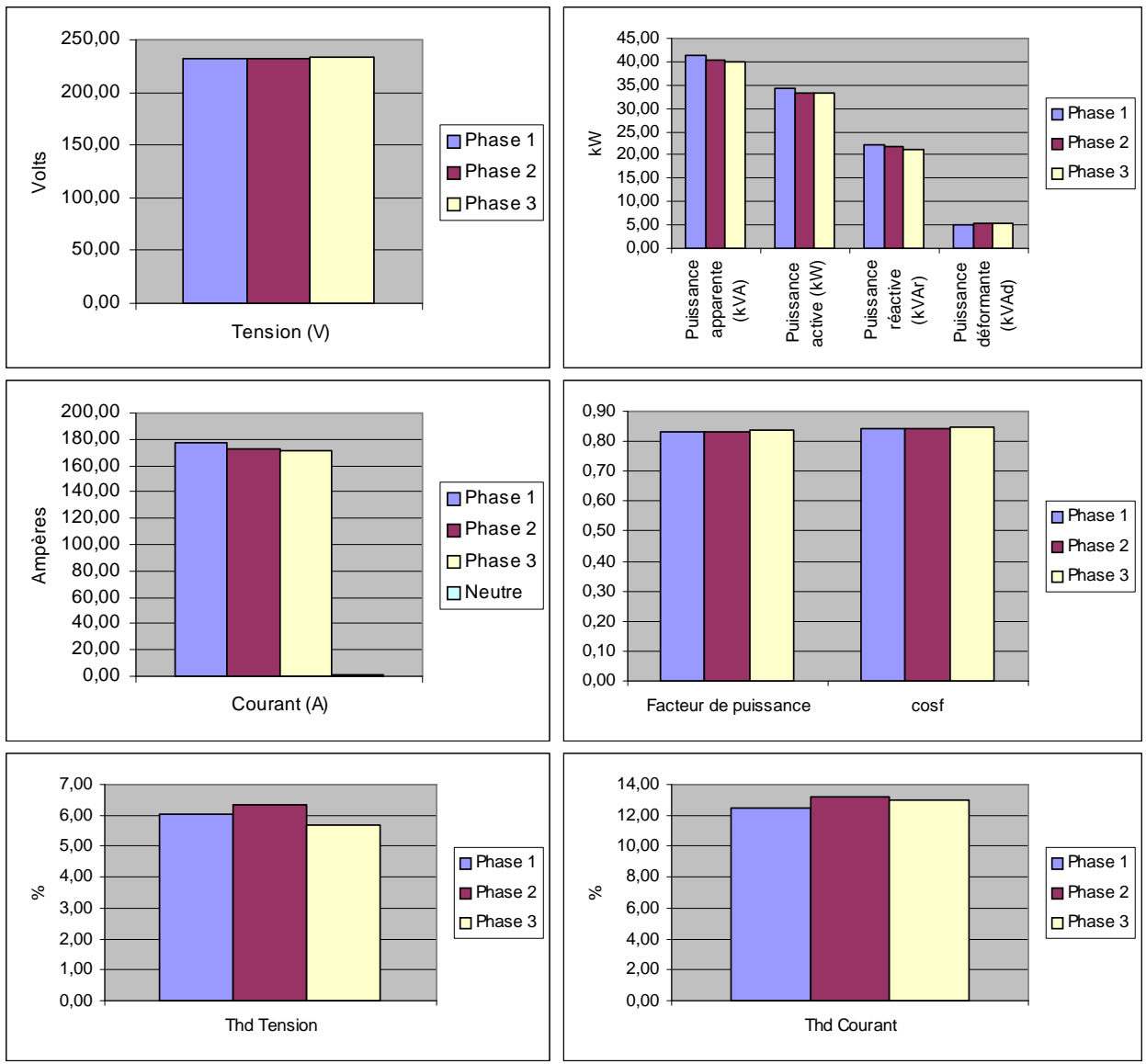
	Tension (V)	Courant (A)	Puissance apparente (kVA)	Puissance active (kW)	Puissance réactive (kVAR)	Puissance déformante (kVAd)	Facteur de puissance	cosφ	Thd Tension	Thd Courant
Phase 1	232,64	177,20	41,22	34,34	22,24	5,03	0,83	0,84	6,04	12,52
Phase 2	232,53	172,68	40,15	33,39	21,67	5,28	0,83	0,84	6,32	13,21
Phase 3	232,91	170,94	39,81	33,31	21,15	5,31	0,84	0,85	5,70	13,02
Neutre		10,99								
Total			121,19	101,04	65,06	15,63				



Formes d'ondes des tensions et des courants en sortie du départ TGBT3



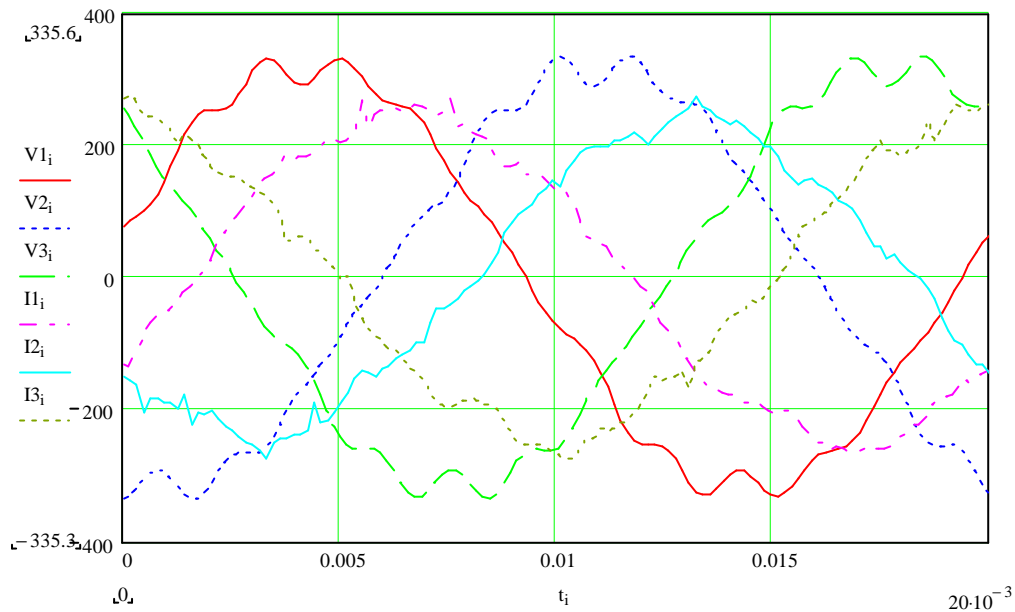
Analyses spectrales des ondes de tensions et de courants en sortie du départ TGBT3



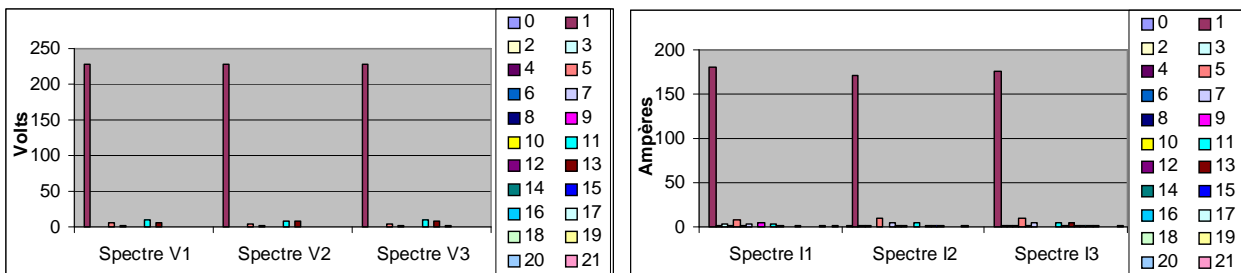
Caractéristiques principales des ondes de tensions et de courants en sortie du départ TGBT3

TGBT 4

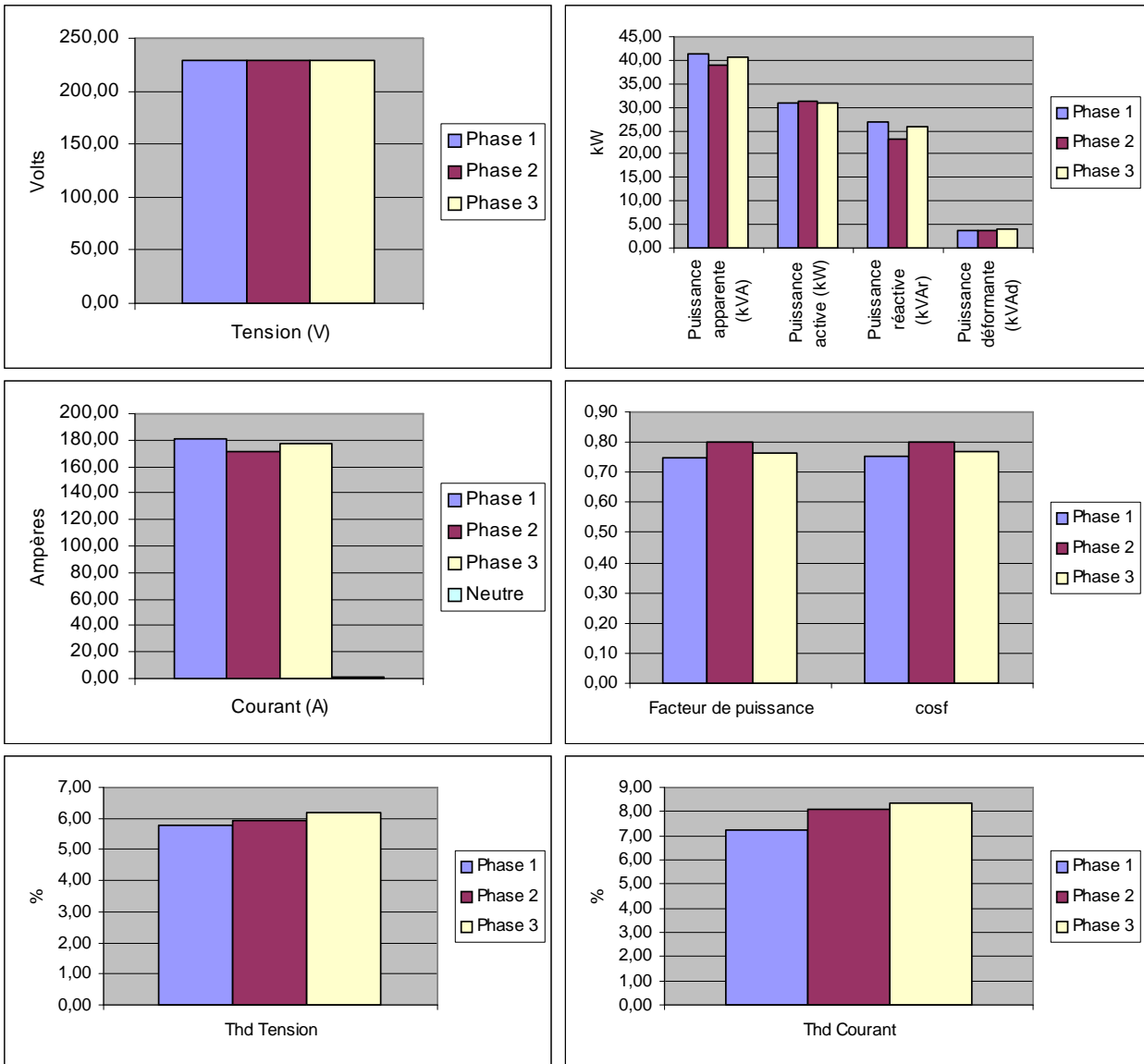
	Tension (V)	Courant (A)	Puissance apparente (kVA)	Puissance active (kW)	Puissance réactive (kVAr)	Puissance déformante (kVAd)	Facteur de puissance	cosφ	Thd Tension	Thd Courant
Phase 1	228,62	180,39	41,24	30,93	27,03	3,69	0,75	0,75	5,79	7,23
Phase 2	228,43	171,19	39,11	31,21	23,25	3,82	0,80	0,80	5,93	8,07
Phase 3	229,01	177,00	40,53	30,99	25,83	3,88	0,76	0,77	6,17	8,33
Neutre		19,19								
Total			120,88	93,14	76,11	11,39				



Formes d'ondes des tensions et des courants en sortie du départ TGBT4



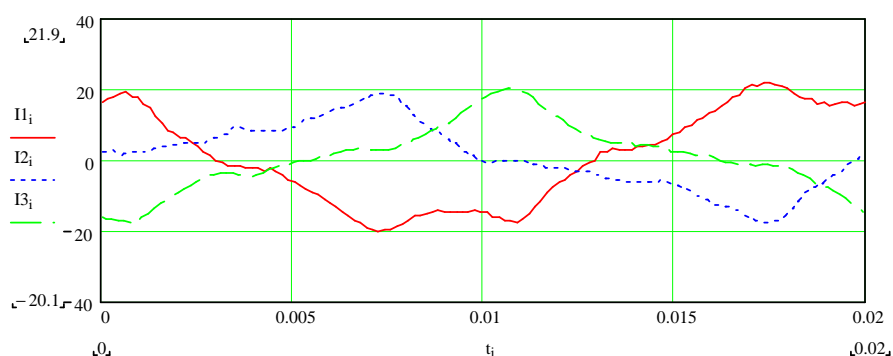
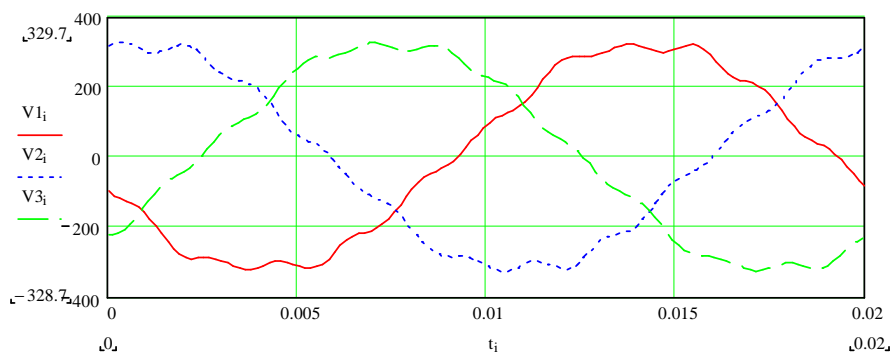
Analyses spectrales des ondes de tensions et de courants en sortie du départ TGBT4



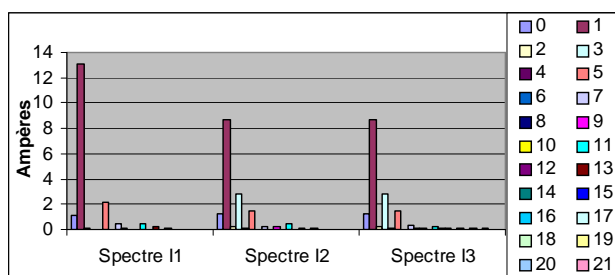
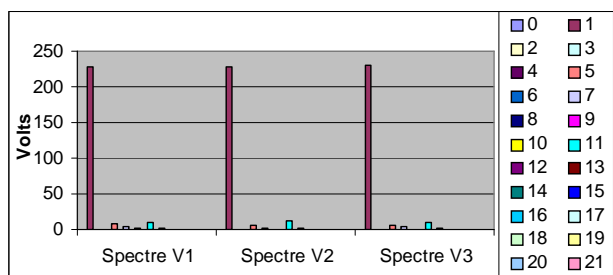
Caractéristiques principales des ondes de tensions et de courants en sortie du départ TGBT4

RESEAU 2 ONDULEUR CHAÎNE 1

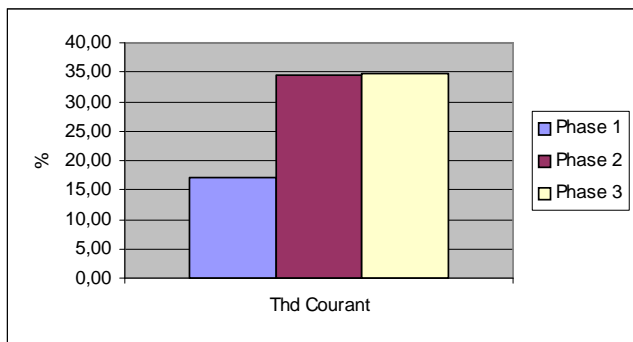
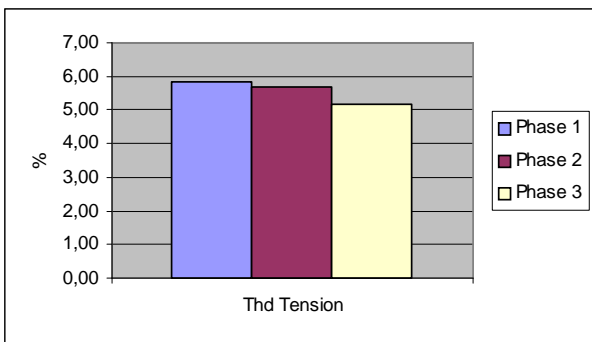
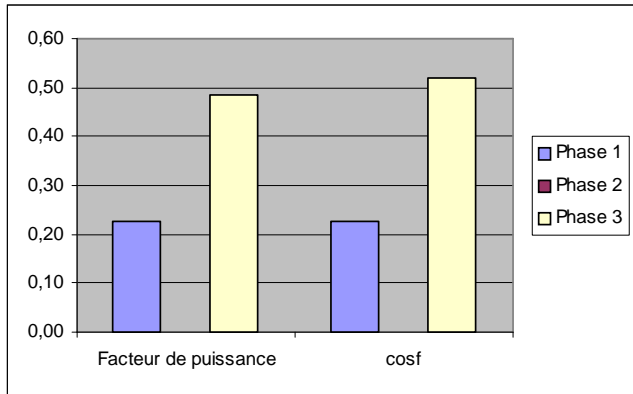
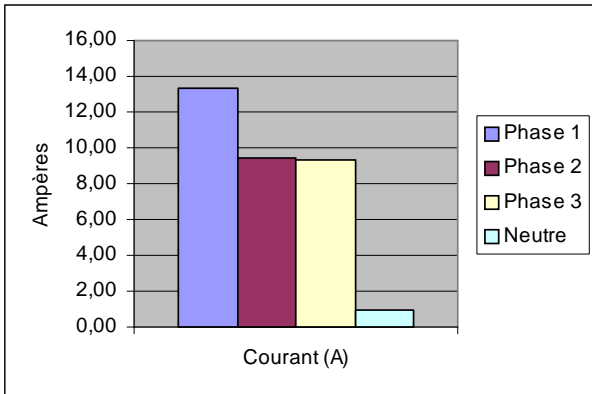
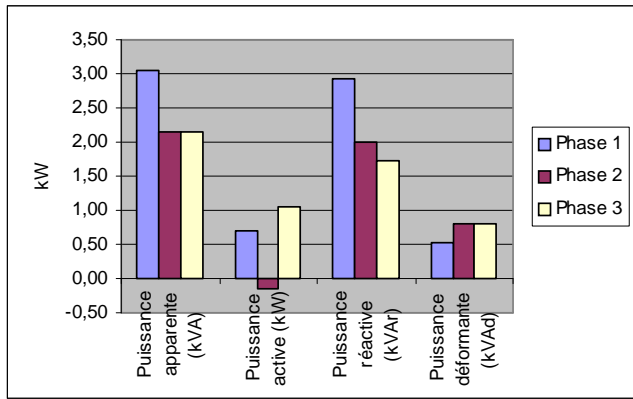
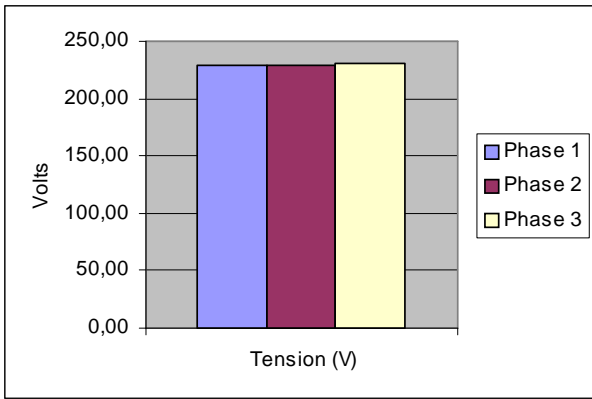
	Tension (V)	Courant (A)	Puissance apparente (kVA)	Puissance active (kW)	Puissance réactive (kVAr)	Puissance déformante (kVAd)	Facteur de puissance	cosφ	Thd Tension	Thd Courant
Phase 1	228,73	13,37	3,06	0,69	2,93	0,54	0,23	0,23	5,83	17,21
Phase 2	229,24	9,40	2,16	-0,15	2,00	0,80	-0,07	-0,08	5,68	34,37
Phase 3	230,68	9,37	2,16	1,05	1,72	0,79	0,48	0,52	5,18	34,88
Neutre		3,57								
Total			7,38	1,59	6,65	2,12				



Formes d'onde des tensions et des courants en sortie du départ Réseau 2 Onduleur Chaîne 1



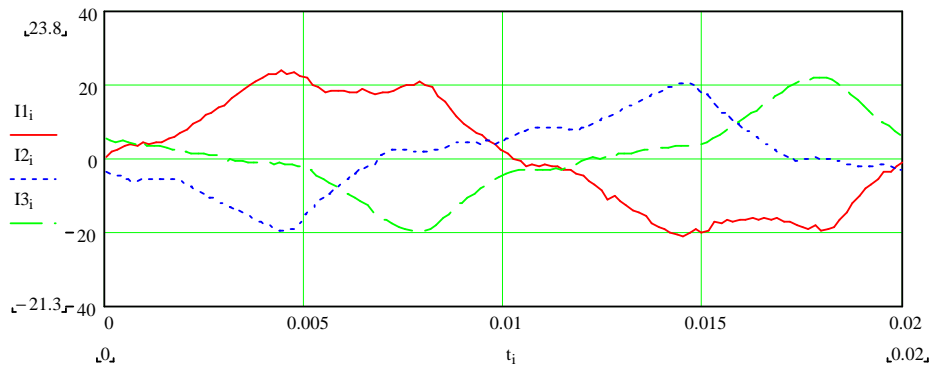
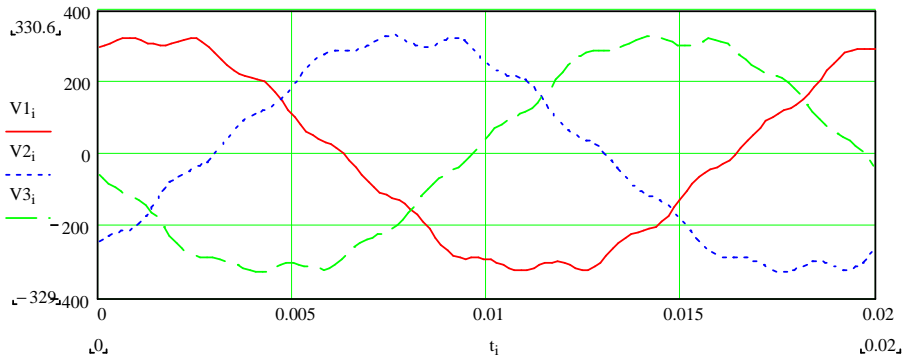
Analyses spectrales des ondes de tensions et de courants en sortie du départ Réseau 2 Onduleur Chaîne1



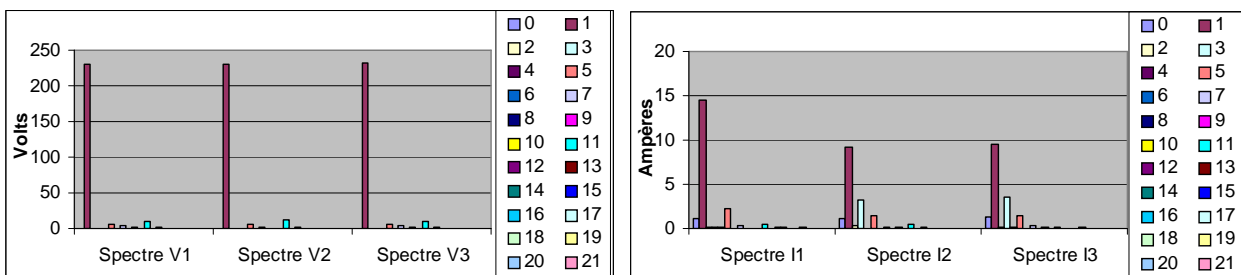
Caractéristiques principales des ondes de tensions et de courants en sortie du départ Réseau 2 Onduleur Chaîne1

RESEAU 2 ONDULEUR CHAÎNE 2

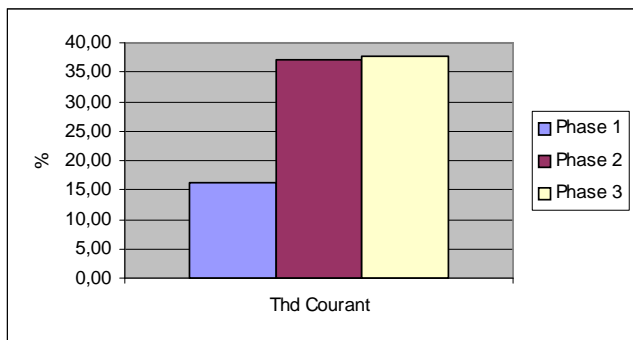
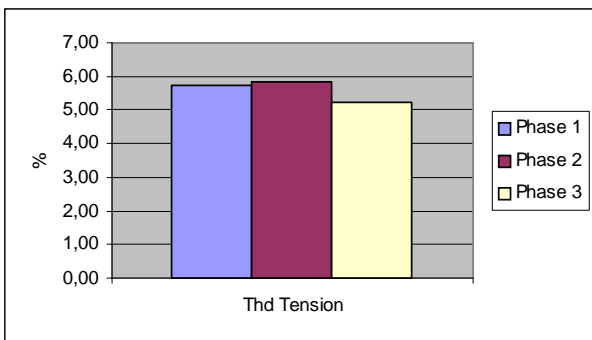
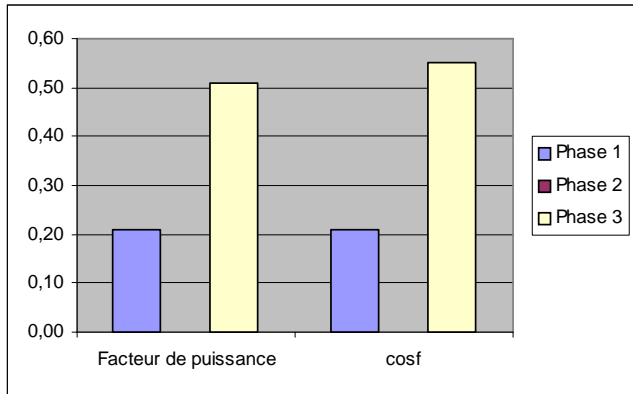
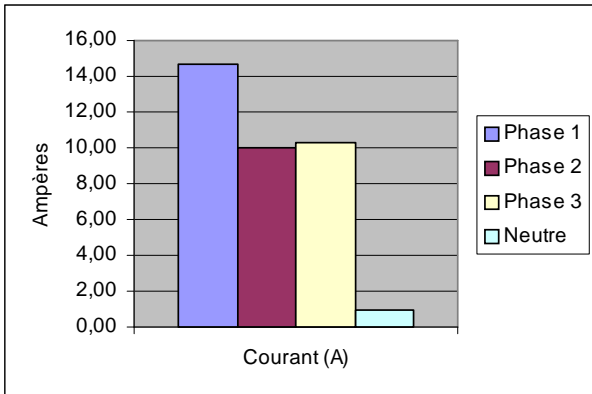
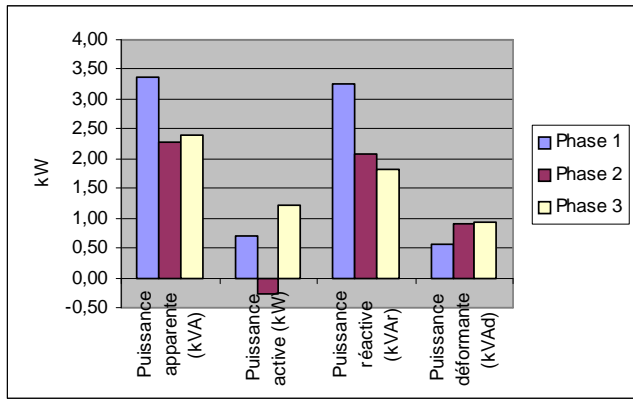
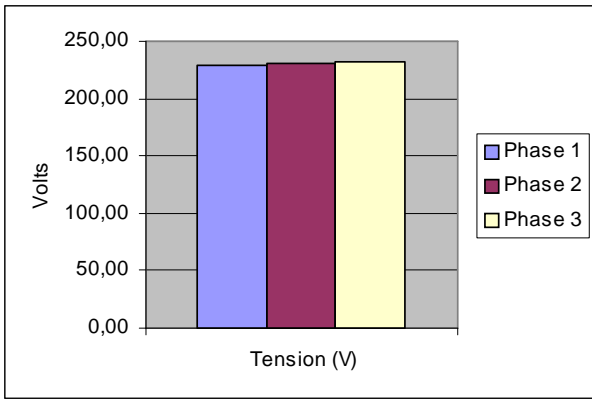
	Tension (V)	Courant (A)	Puissance apparente (kVA)	Puissance active (kW)	Puissance réactive (kVAR)	Puissance déformante (kVAd)	Facteur de puissance	cosφ	Thd Tension	Thd Courant
Phase 1	229,48	14,71	3,38	0,70	3,25	0,55	0,21	0,21	5,72	16,26
Phase 2	230,15	9,96	2,29	-0,27	2,09	0,90	-0,12	-0,13	5,84	36,96
Phase 3	231,42	10,30	2,38	1,21	1,83	0,93	0,51	0,55	5,22	37,77
Neutre		3,60								
Total			8,05	1,65	7,18	2,38				



Formes d'onde des tensions et des courants en sortie du départ Réseau 2 Onduleur Chaîne 2



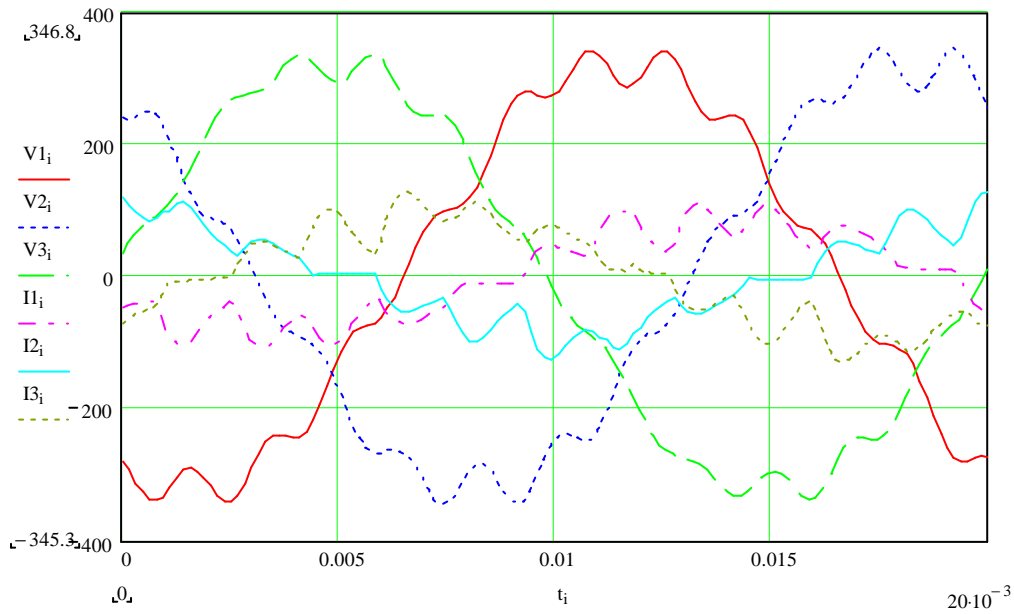
Analyses spectrales des ondes de tensions et de courants en sortie du départ Réseau 2 Onduleur Chaîne 2



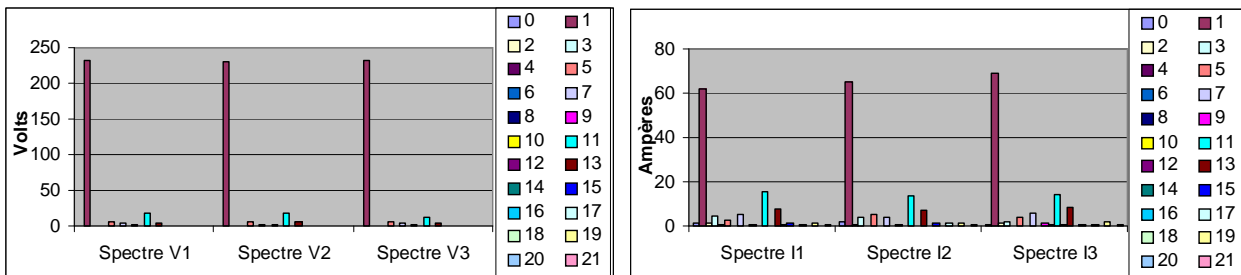
Caractéristiques principales des ondes de tensions et de courants en sortie du départ Réseau 2
Onduleur Chaîne 2

RESEAU 1 ONDULEUR 1

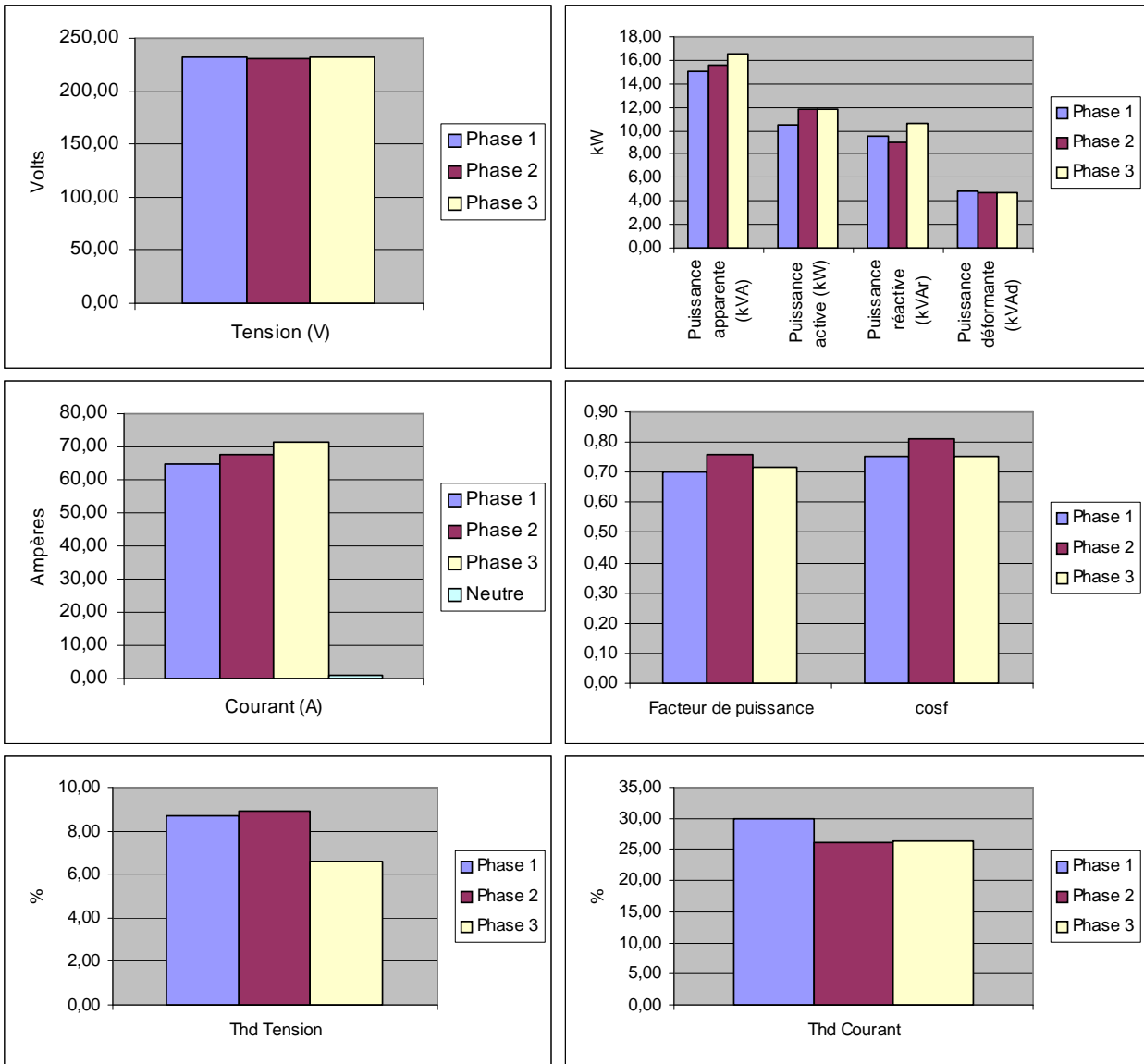
	Tension (V)	Courant (A)	Puissance apparente (kVA)	Puissance active (kW)	Puissance réactive (kVAR)	Puissance déformante (kVAd)	Facteur de puissance	cosφ	Thd Tension	Thd Courant
Phase 1	231,93	64,78	15,02	10,50	9,60	4,83	0,70	0,75	8,67	29,86
Phase 2	230,82	67,59	15,60	11,88	8,97	4,69	0,76	0,81	8,93	26,15
Phase 3	231,73	71,28	16,52	11,81	10,56	4,67	0,72	0,75	6,58	26,25
Neutre		4,70								
Total			47,14	34,19	29,13	14,18				



Formes d'ondes des tensions et des courants en sortie du départ Réseau 1 Onduleur 1



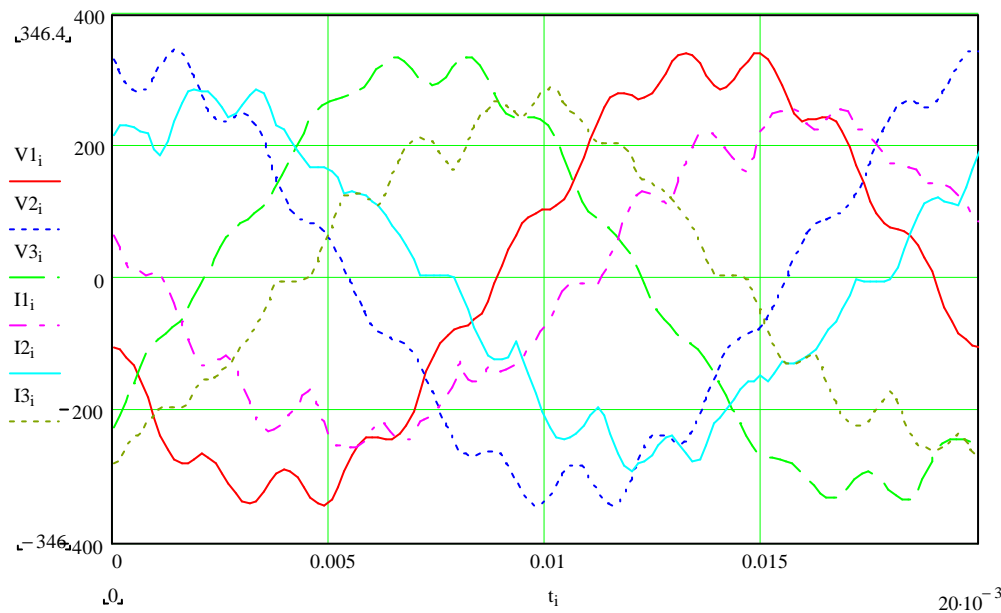
Analyses spectrales des ondes de tensions et de courants en sortie du départ Réseau 1 Onduleur 1



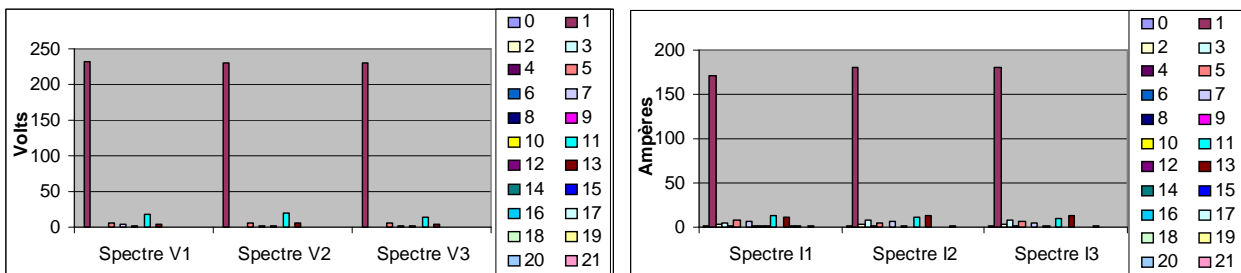
Caractéristiques principales des ondes de tensions et de courants en sortie du départ Réseau 1
Onduleur 1

RESEAU 1 ONDULEUR 2

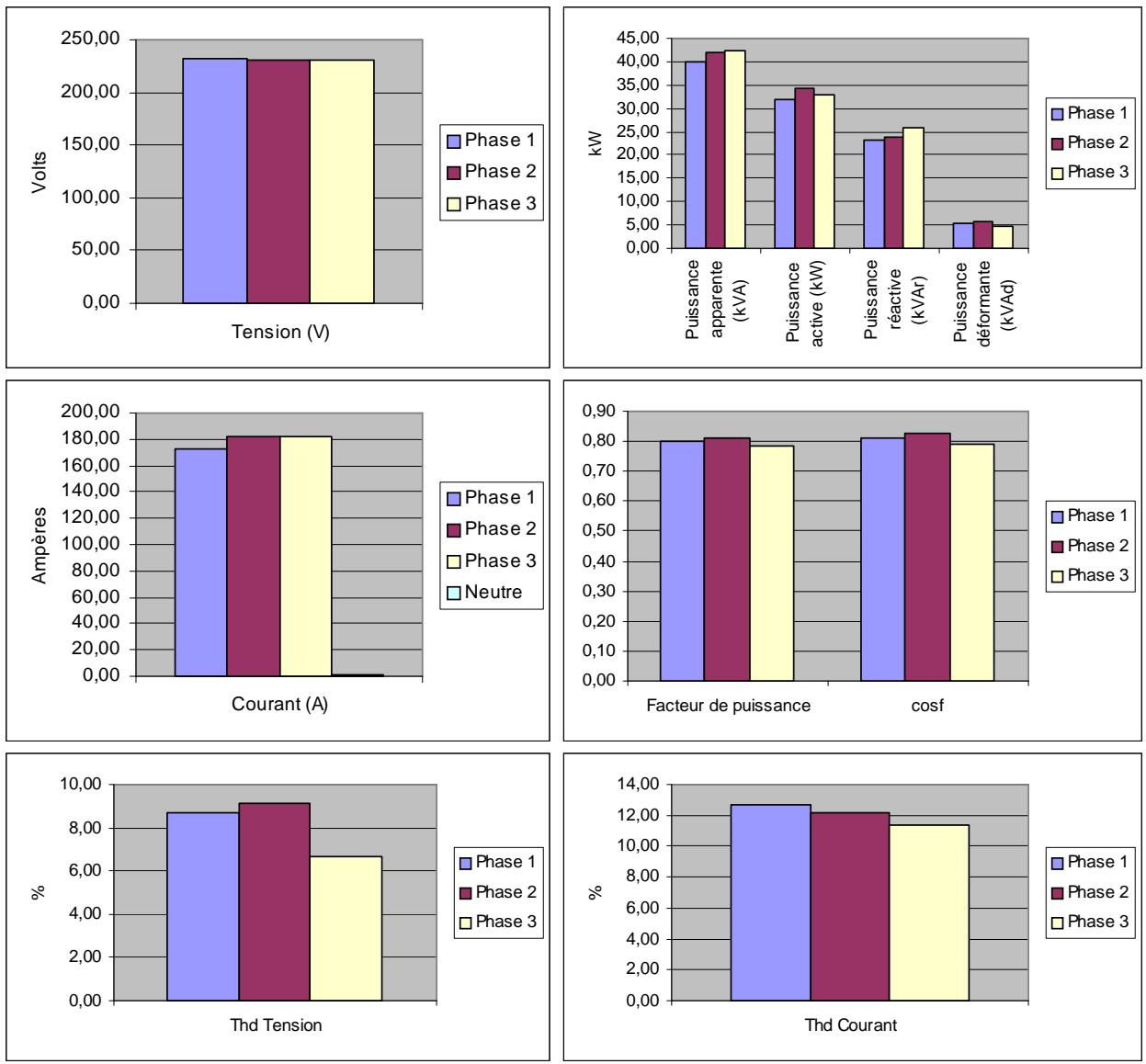
	Tension (V)	Courant (A)	Puissance apparente (kVA)	Puissance active (kW)	Puissance réactive (kVAR)	Puissance déformante (kVAd)	Facteur de puissance	cosφ	Thd Tension	Thd Courant
Phase 1	232,53	172,06	40,01	32,06	23,34	5,32	0,80	0,81	8,70	12,64
Phase 2	230,69	182,54	42,11	34,25	23,85	5,62	0,81	0,82	9,14	12,22
Phase 3	231,37	182,25	42,17	33,04	25,75	4,82	0,78	0,79	6,70	11,37
Neutre		5,99								
Total			124,29	99,35	72,94	15,75				



Formes d'ondes des tensions et des courants en sortie du départ Réseau 1 Onduleur 2



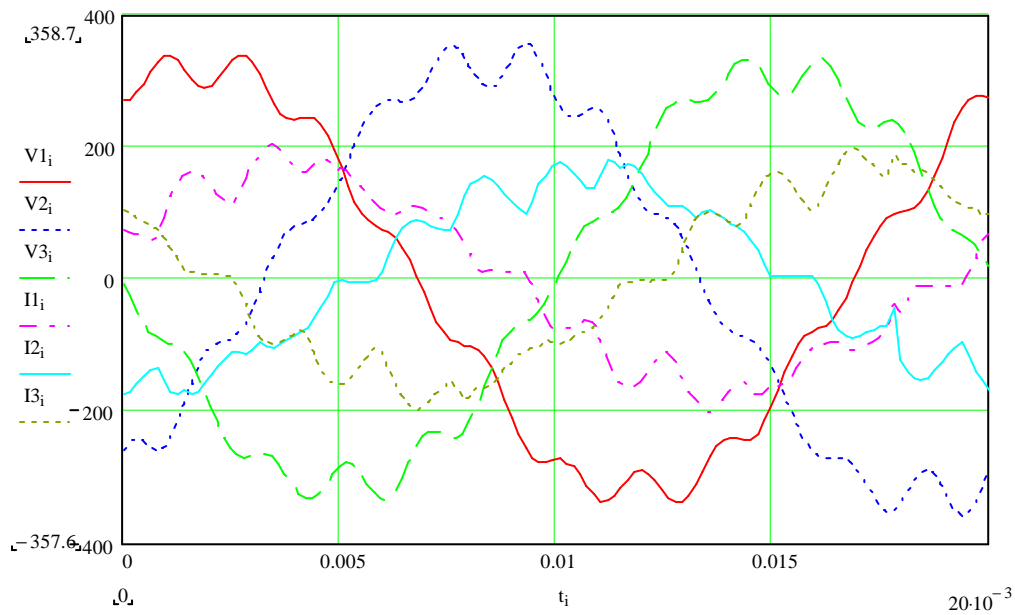
Analyses spectrales des ondes de tensions et de courants en sortie du départ Réseau 1 Onduleur 2



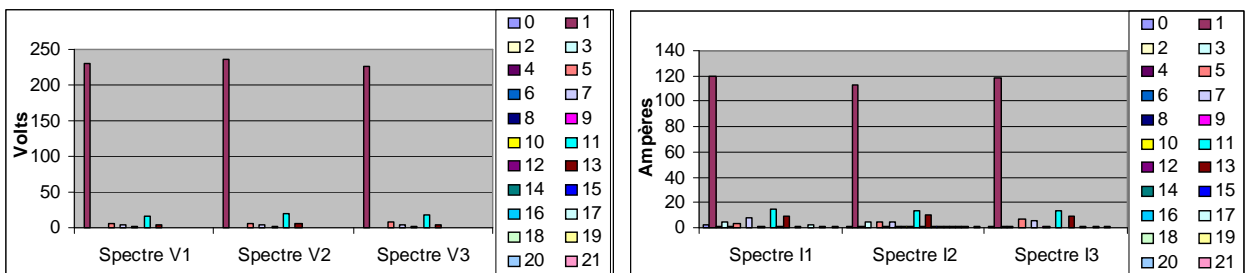
Caractéristiques principales des ondes de tensions et de courants en sortie du départ Réseau 1 Onduleur 2

RESEAU 1 ONDULEUR 3

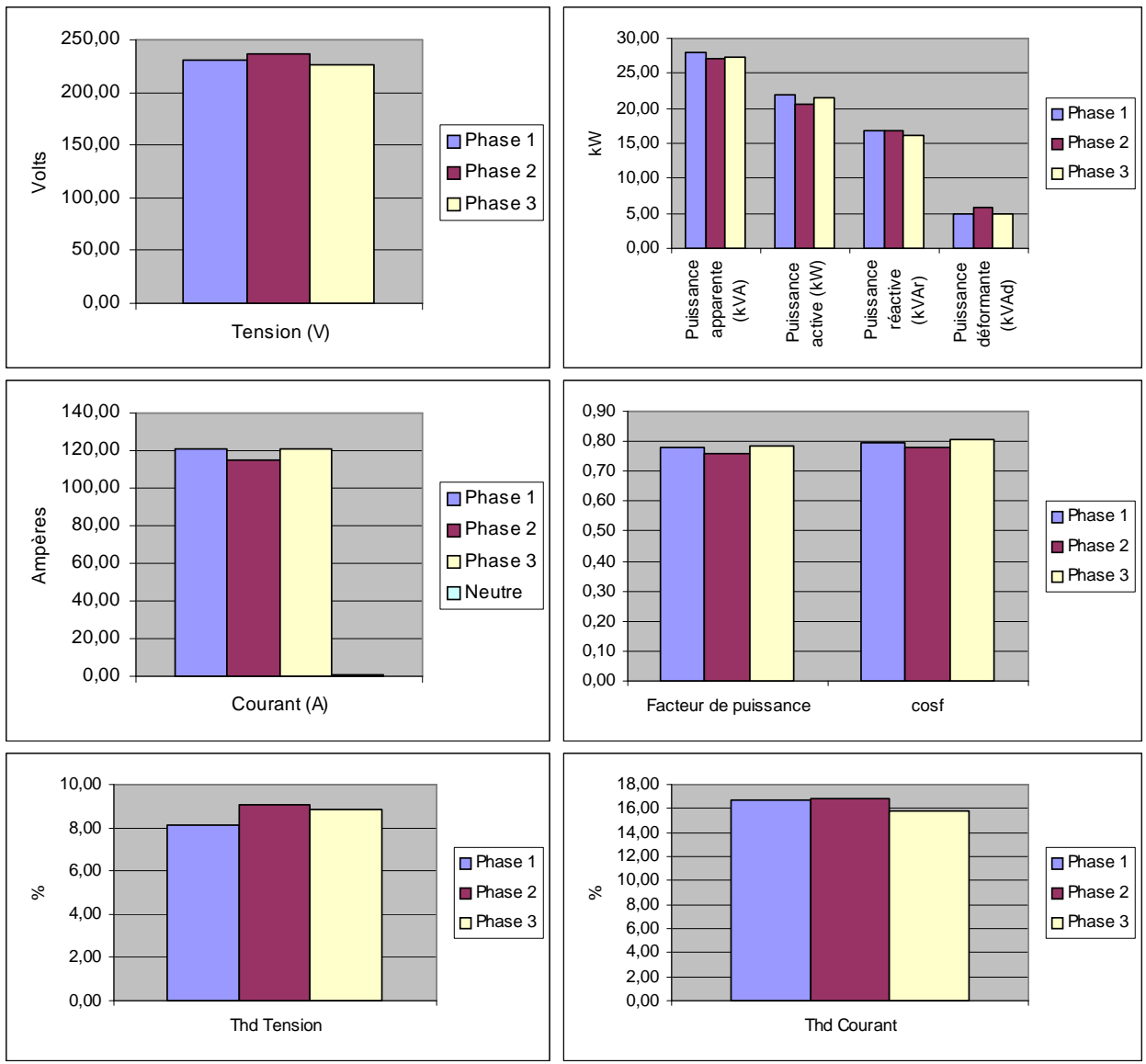
	Tension (V)	Courant (A)	Puissance apparente (kVA)	Puissance active (kW)	Puissance réactive (kVAR)	Puissance déformante (kVAd)	Facteur de puissance	cosφ	Thd Tension	Thd Courant
Phase 1	231,29	121,24	28,04	21,85	16,89	4,84	0,78	0,80	8,15	16,70
Phase 2	236,74	114,70	27,16	20,58	16,75	5,77	0,76	0,78	9,05	16,87
Phase 3	226,90	120,43	27,33	21,45	16,16	5,03	0,79	0,80	8,85	15,74
Neutre		10,77								
Total			82,52	63,89	49,80	15,64				



Formes d'ondes des tensions et des courants en sortie du départ Réseau 1 Onduleur 3



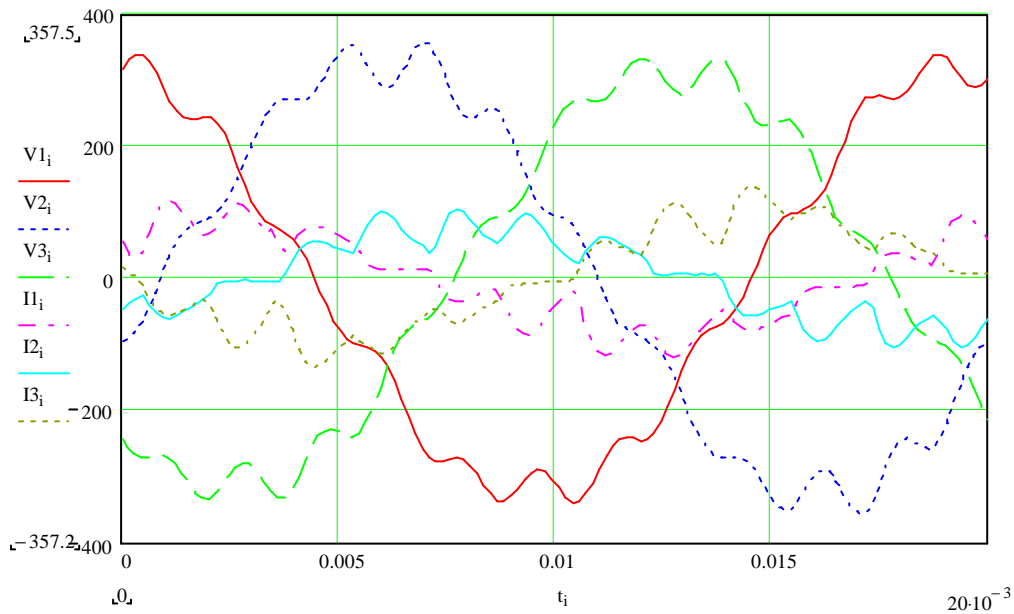
Analyses spectrales des ondes de tensions et de courants en sortie du départ Réseau 1 Onduleur 3



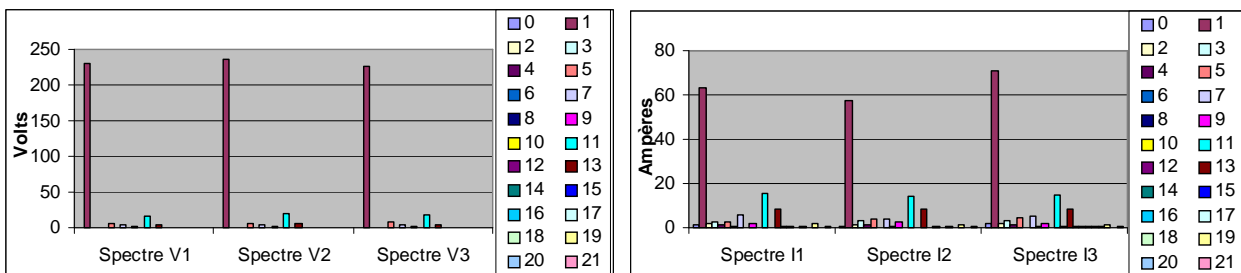
Caractéristiques principales des ondes de tensions et de courants en sortie du départ Réseau 1 Onduleur 3

RESEAU 1 ONDULEUR 4

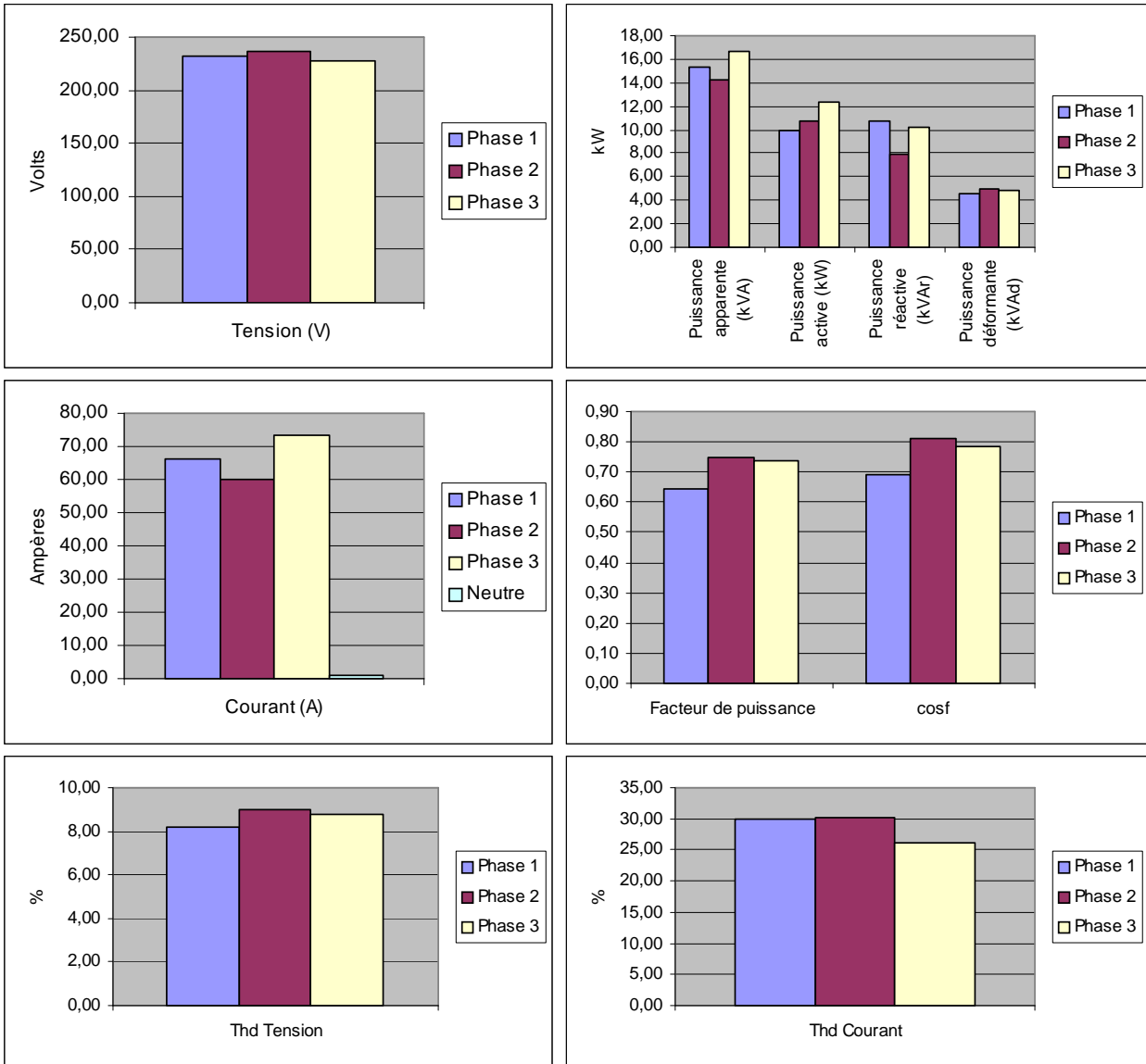
	Tension (V)	Courant (A)	Puissance apparente (kVA)	Puissance active (kW)	Puissance réactive (kVAr)	Puissance déformante (kVAd)	Facteur de puissance	cosφ	Thd Tension	Thd Courant
Phase 1	231,48	66,17	15,32	9,89	10,75	4,59	0,65	0,69	8,18	29,98
Phase 2	237,08	60,02	14,23	10,68	7,98	4,97	0,75	0,81	9,00	30,07
Phase 3	227,32	73,38	16,68	12,31	10,15	4,86	0,74	0,78	8,76	26,12
Neutre		5,41								
Total			46,23	32,89	28,88	14,43				



Formes d'ondes des tensions et des courants en sortie du départ Réseau 1 Onduleur 4



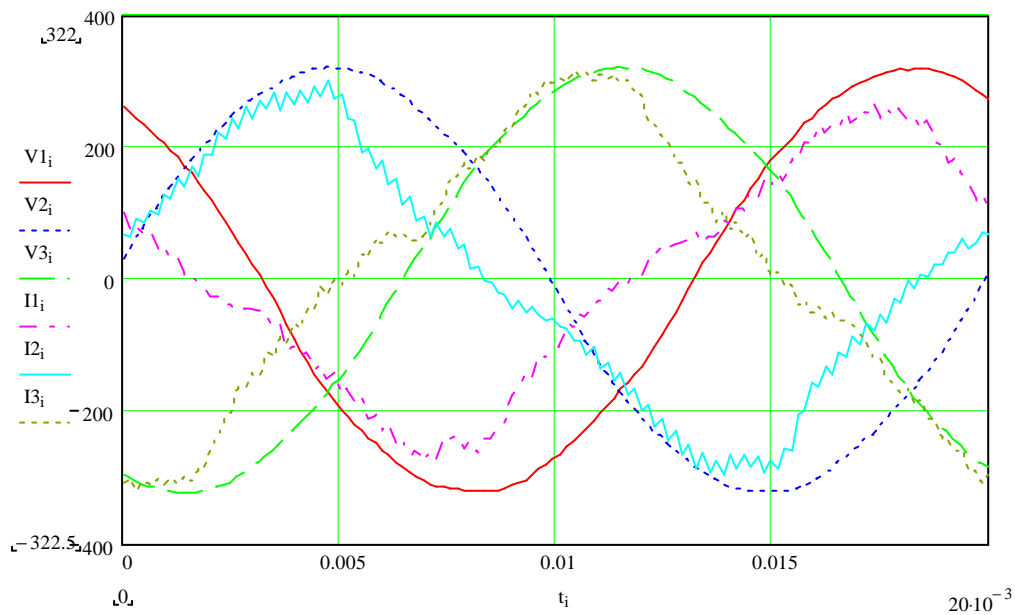
Analyses spectrales des ondes de tensions et de courants en sortie du départ Réseau 1 Onduleur 4



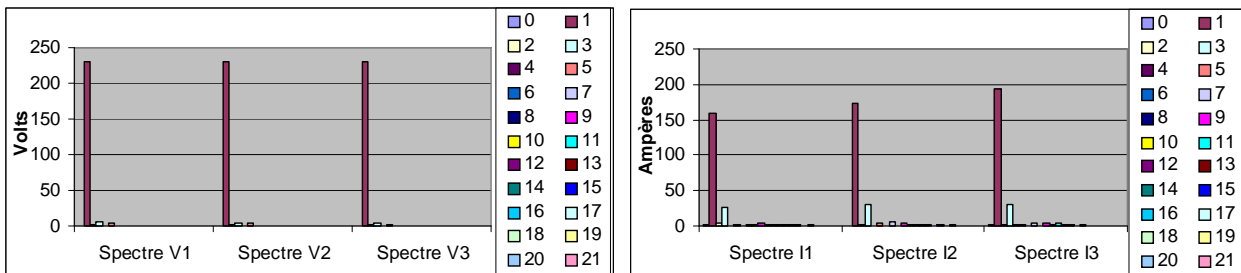
Caractéristiques principales des ondes de tensions et de courants en sortie du départ Réseau 1 Onduleur 4

SORTIE ONDULEUR 1 ET 2

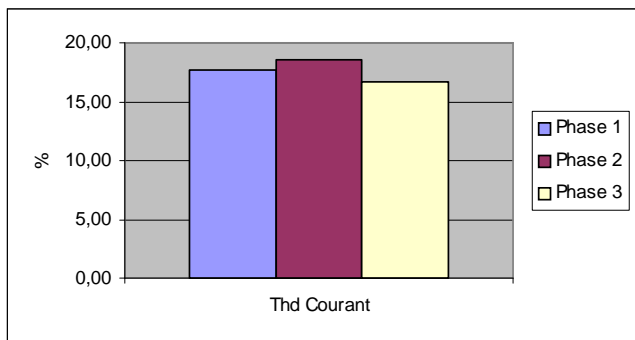
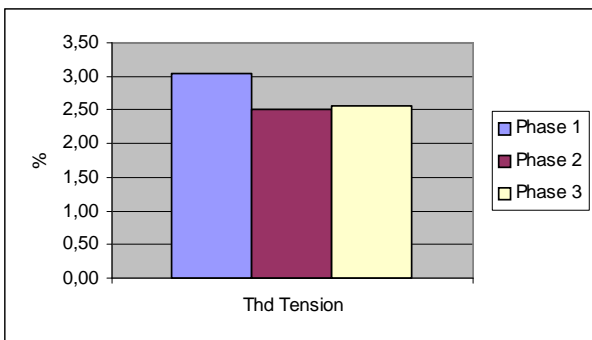
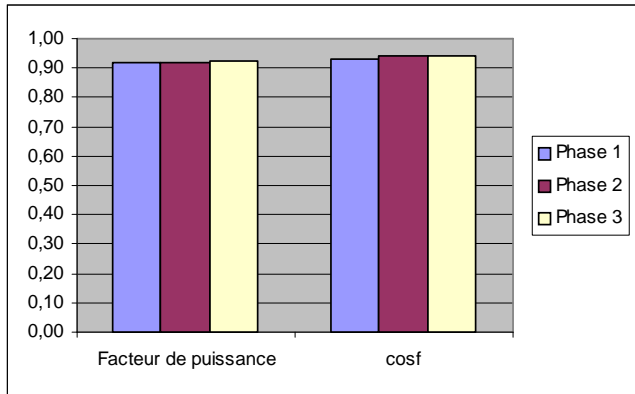
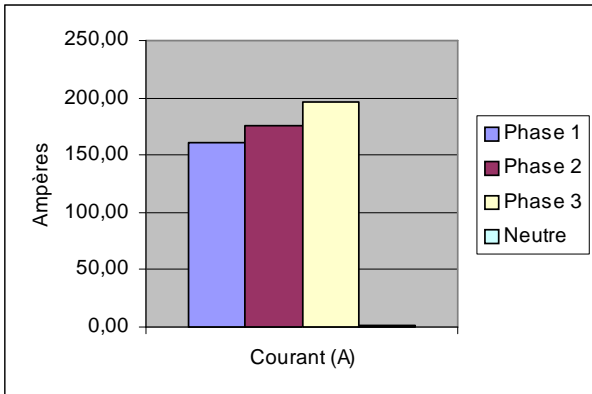
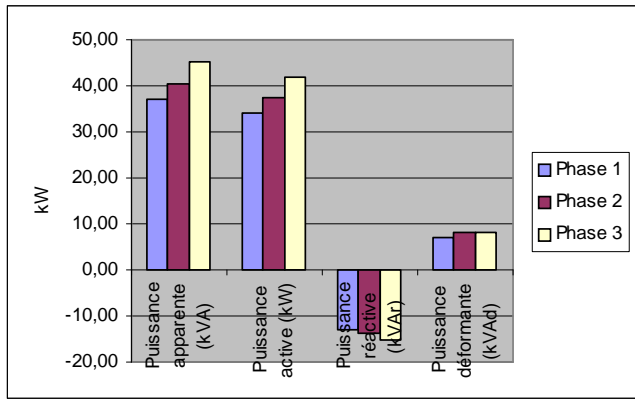
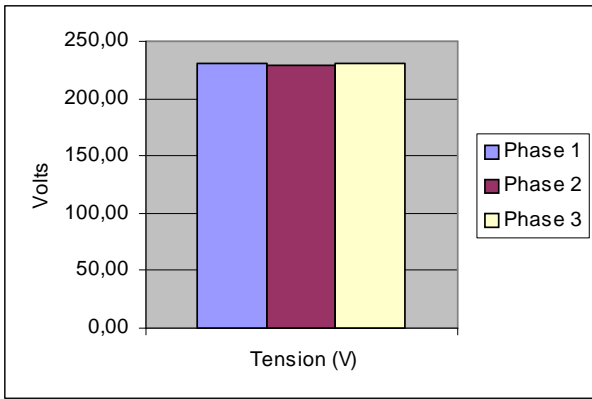
	Tension (V)	Courant (A)	Puissance apparente (kVA)	Puissance active (kW)	Puissance réactive (kVA _r)	Puissance déformante (kVA _d)	Facteur de puissance	cosφ	Thd Tension	Thd Courant
Phase 1	230,08	161,05	37,05	33,95	-13,00	7,17	0,92	0,93	3,05	17,72
Phase 2	229,68	176,16	40,46	37,25	-13,59	8,03	0,92	0,94	2,51	18,55
Phase 3	230,01	196,70	45,24	41,88	-15,12	8,03	0,93	0,94	2,57	16,61
Neutre		93,95								
Total			122,76	113,08	-41,70	23,23				



Formes d'ondes des tensions et des courants en sortie des onduleurs 1 et 2



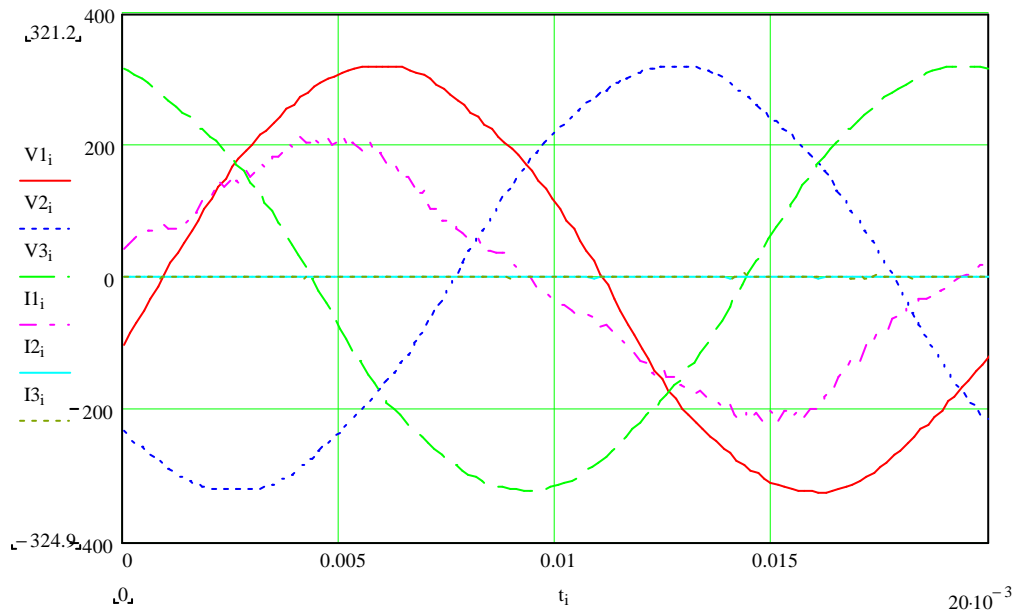
Analyses spectrales des ondes de tensions et de courants en sortie des onduleurs 1 et 2



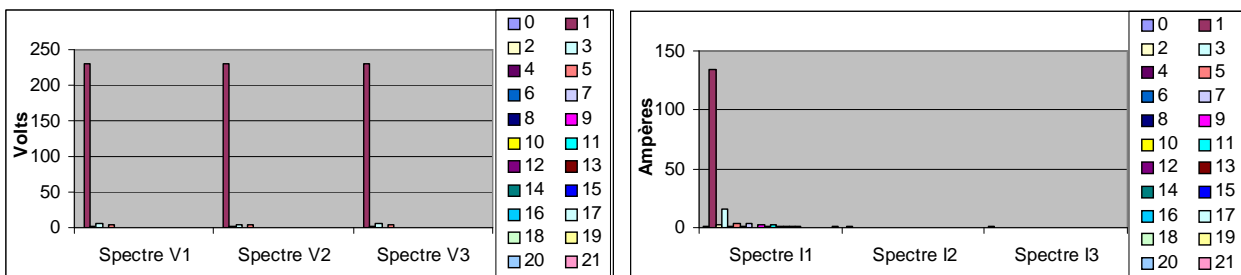
Caractéristiques principales des ondes de tensions et de courants en sortie des onduleurs 1 et 2

SORTIE ONDULEUR 3 ET 4

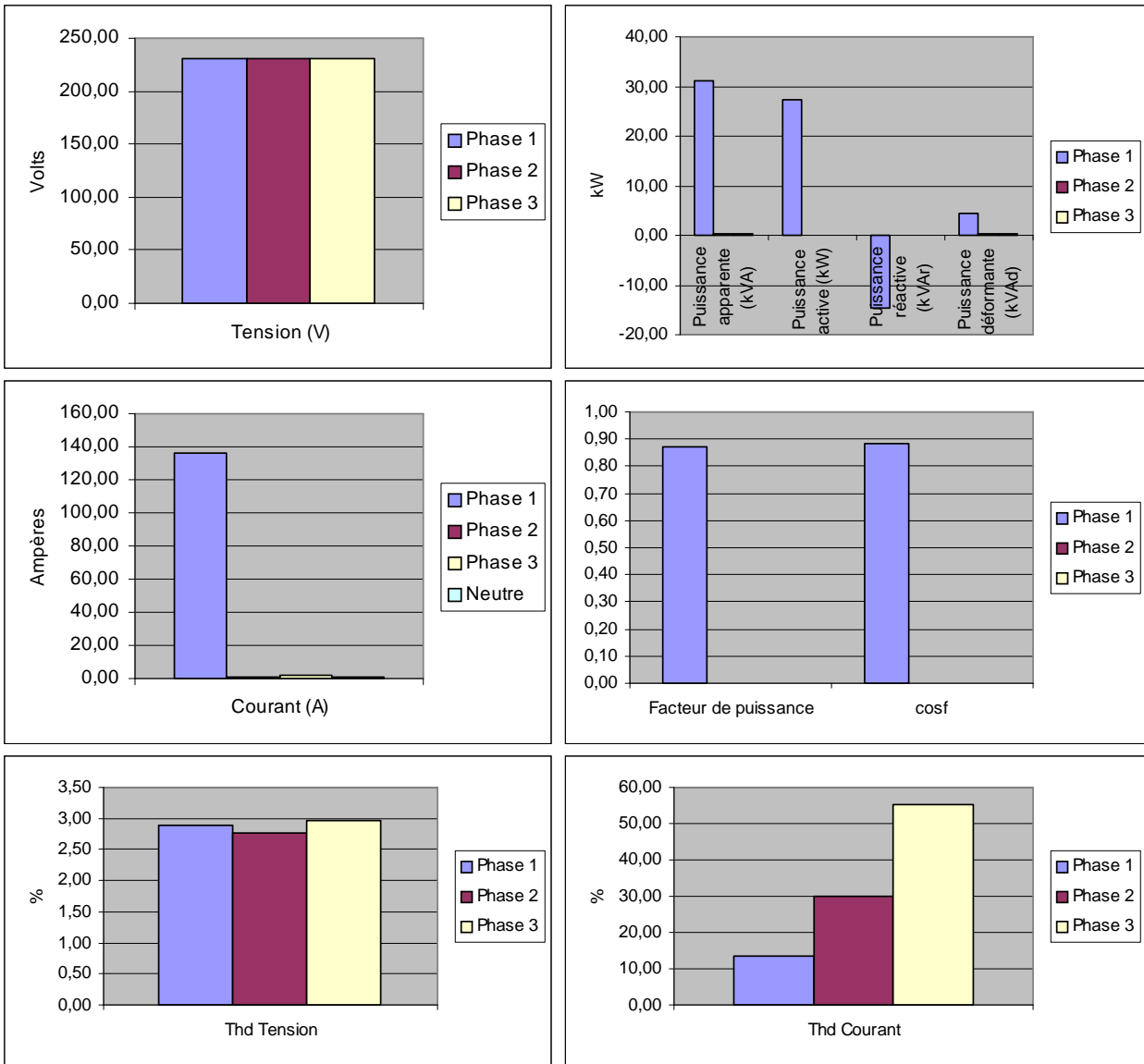
	Tension (V)	Courant (A)	Puissance apparente (kVA)	Puissance active (kW)	Puissance réactive (kVAR)	Puissance déformante (kVAd)	Facteur de puissance	cosφ	Thd Tension	Thd Courant
Phase 1	230,28	135,77	31,27	27,35	-14,48	4,44	0,87	0,88	2,90	13,48
Phase 2	230,28	1,34	0,31	-0,05	0,01	0,30	-0,17	-0,97	2,78	29,93
Phase 3	230,38	1,59	0,37	-0,01	0,00	0,37	-0,04	-0,96	2,97	55,29
Neutre		136,00								
Total			31,94	27,28	-14,47	5,11				



Formes d'ondes des tensions et des courants en sortie des onduleurs 3 et 4

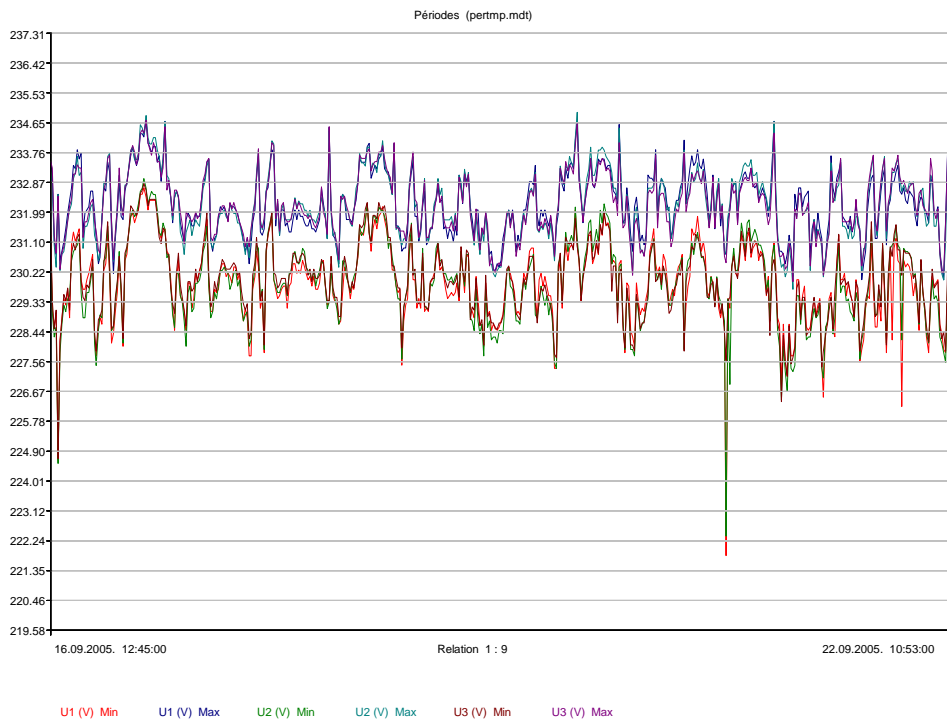


Analyses spectrales des ondes de tensions et de courants en sortie des onduleurs 3 et 4

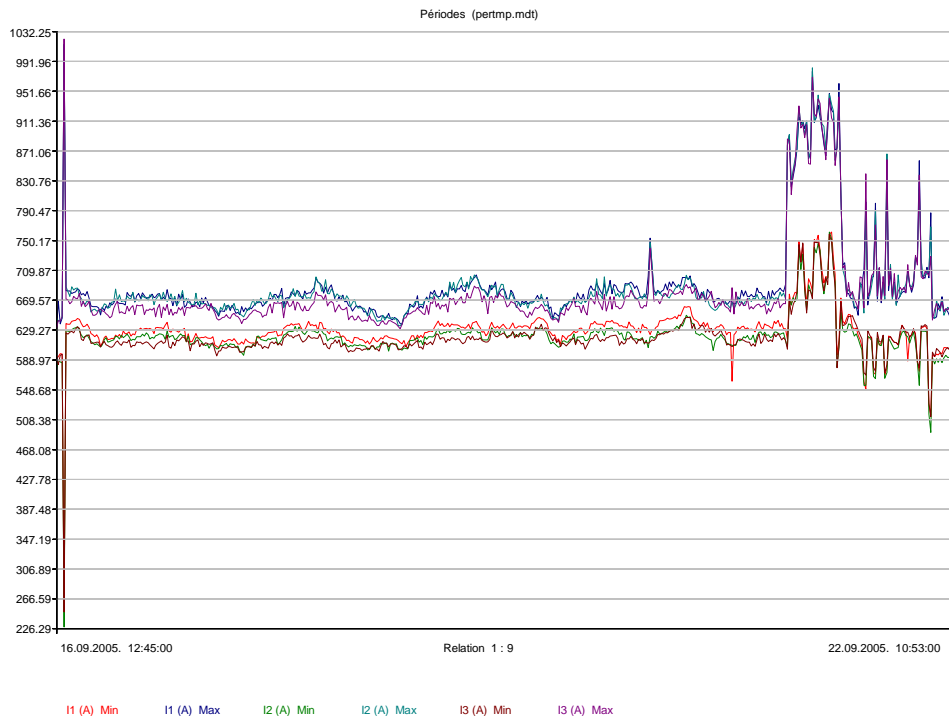


Caractéristiques principales des ondes de tensions et de courants en sortie des onduleurs 3 et 4

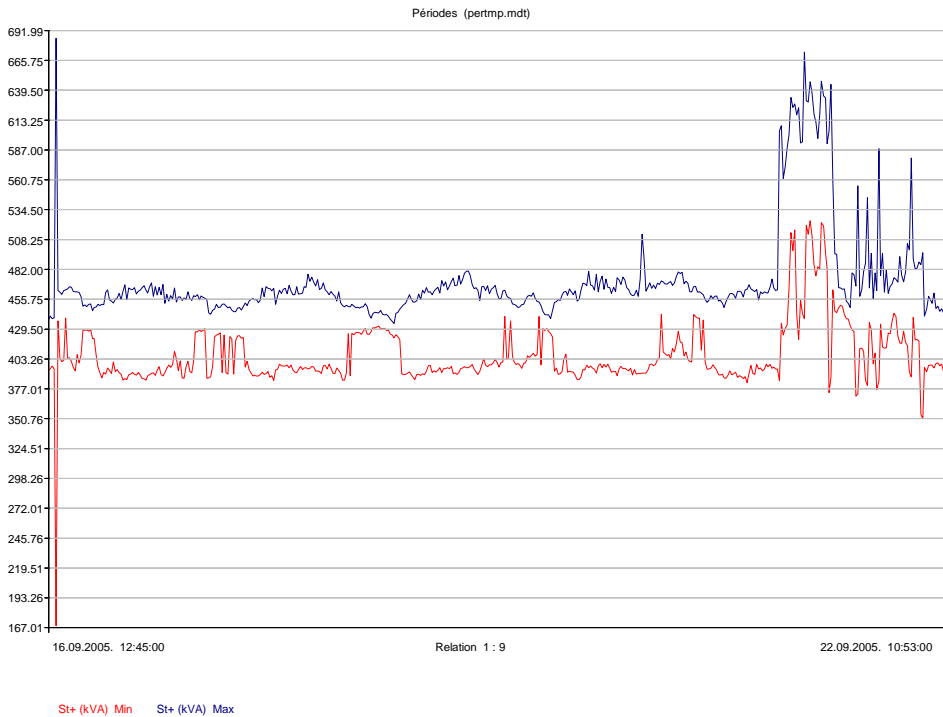
Mesures effectuées en sortie des transformateurs du 18 mai 2005 au 24 mai 2005



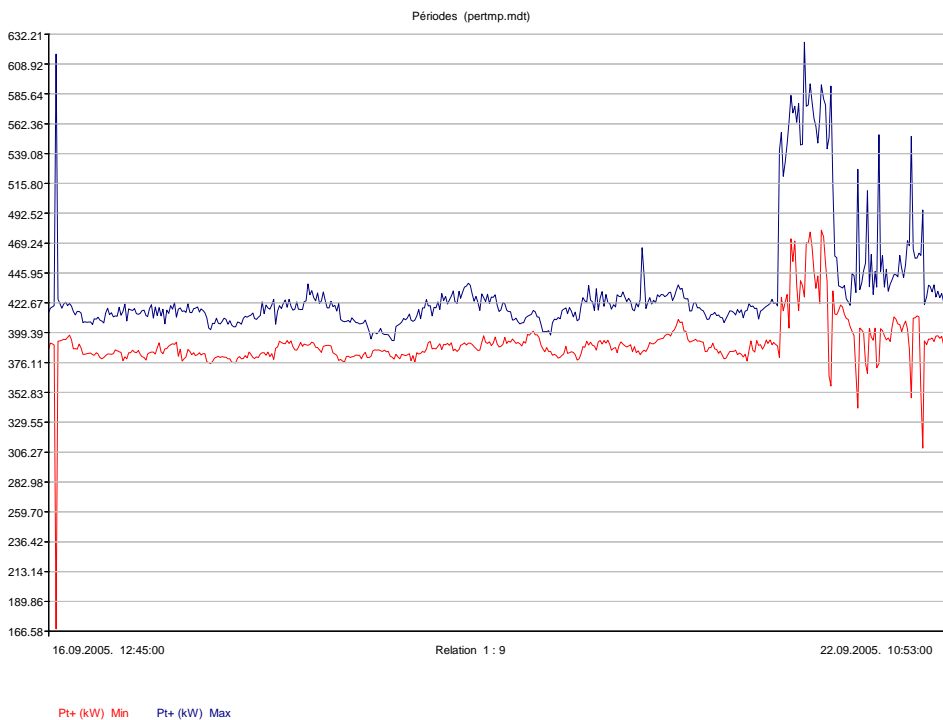
Relevés des tensions minimales et maximales sur les trois phases toutes les deux minutes



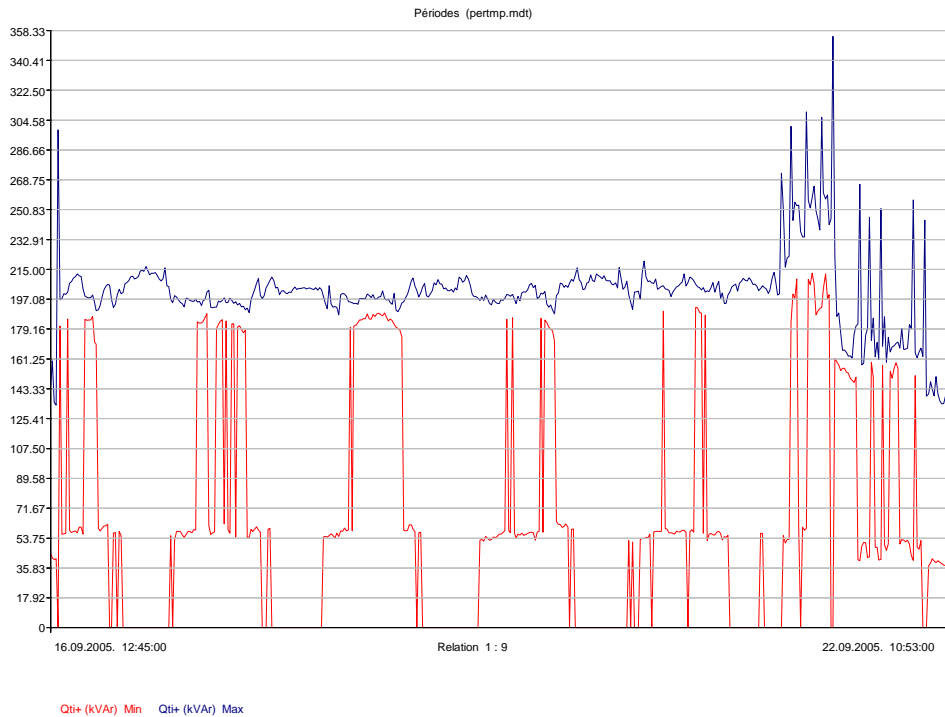
Relevés des courants minimaux et maximaux sur les trois phases toutes les deux minutes



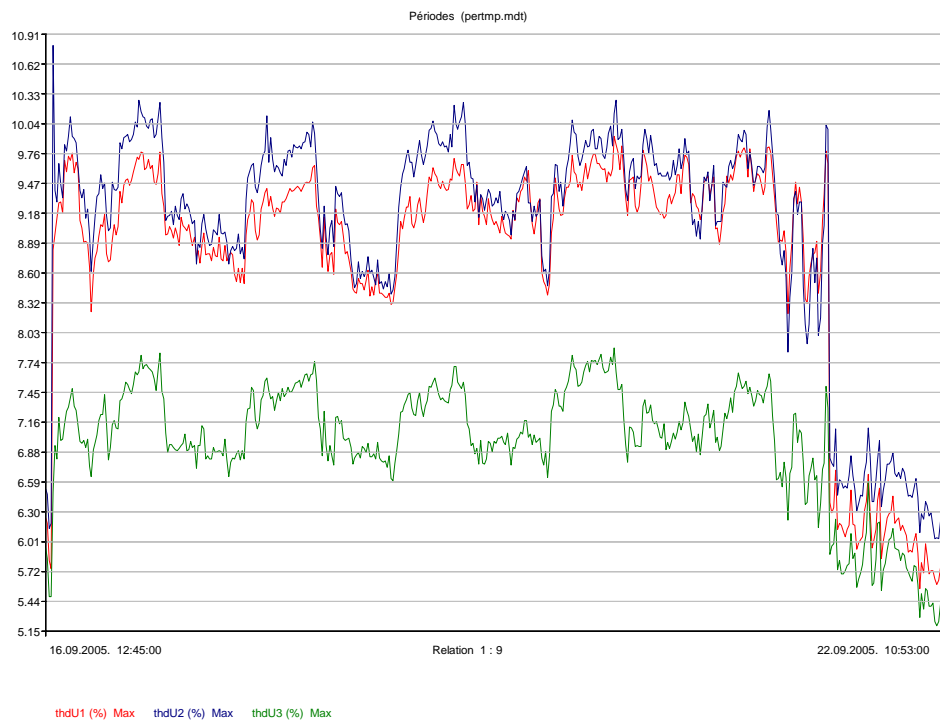
Puissances apparentes totales minimale et maximale toutes les deux minutes



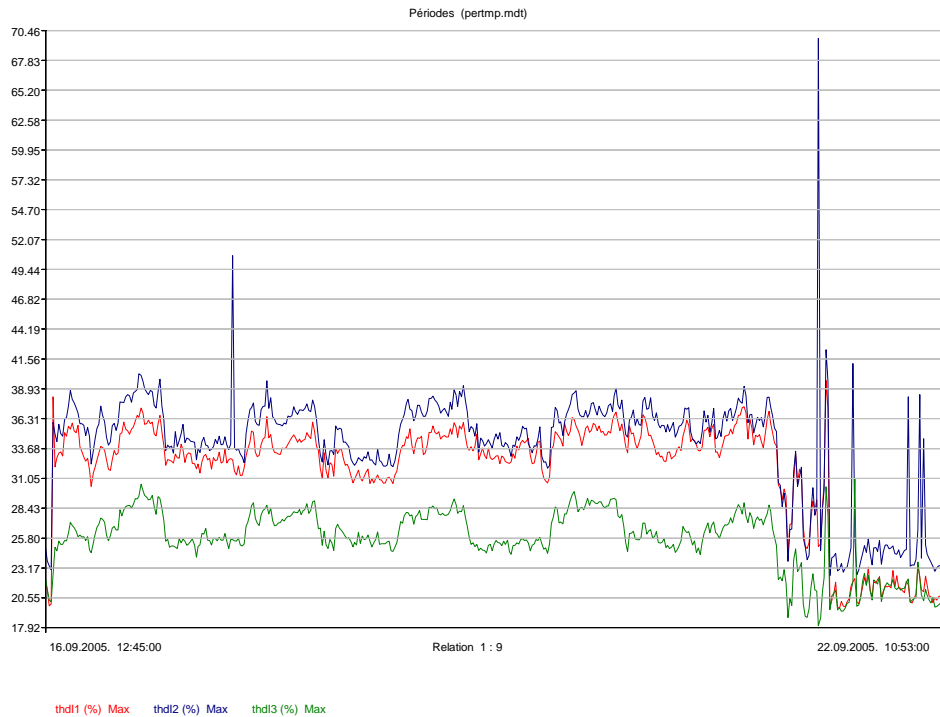
Puissances actives totales minimale et maximale toutes les deux minutes



Puissances réactives totales minimale et maximale toutes les deux minutes



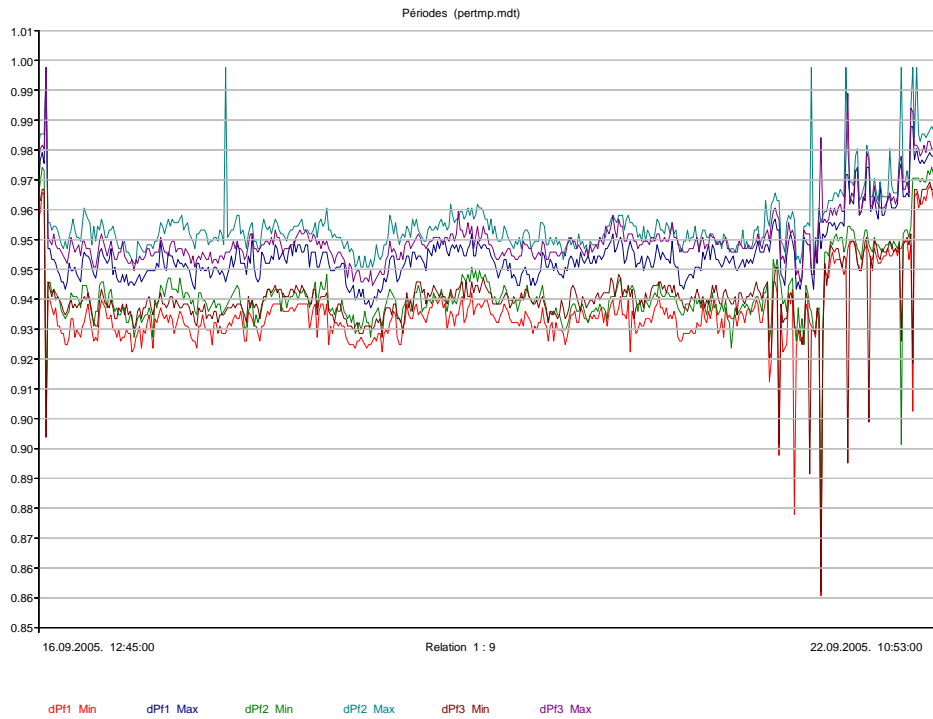
Taux de distorsion harmonique en tension sur les trois phases toutes les deux minutes



Taux de distorsion harmonique en courant sur les trois phases toutes les deux minutes



Fréquences maximale, moyenne et minimale toutes les 2 minutes



Facteurs de puissance minimaux et maximaux pour les trois phases toutes les deux minutes