

**Rapport d'expertise sur l'étude du fonctionnement des
onduleurs installés sur le site de la Société effectuée par la
société EduWatt**

1 Instrumentation mise en œuvre :

Analyseur harmonique de réseau Metrel PHS 50
Pincés ampèremétriques Universal 1000 A AC
Pincés ampèremétriques LEMFLEX 3000 A

2 Objet de l'étude

L'objet de cette étude est de :

- vérifier si les 3 onduleurs de 300 kVA installés en parallèle sur le site satisfont au principe de redondance défini ci-dessous,
- connaître la réserve d'énergie disponible en aval du système onduleur.

Cette étude fixe une référence de comparaison pour les évolutions de charge en aval des onduleurs.

3 Méthode

Le principe de redondance adopté est du type n+1, à savoir que deux appareils sur les trois doivent pouvoir alimenter l'ensemble des charges situées en aval.

Afin de valider ce principe de redondance, il convient de vérifier si deux onduleurs de 300 kVA sont capables de reprendre la totalité de la charge au regard des critères suivants :

- Contrainte en courant crête
- Contrainte en puissance

Le courant crête admissible est déterminé par le facteur de crête FC fourni par le constructeur, égal à 2,33 multiplié par le courant efficace nominal de l'onduleur.

Dans le cas où l'onduleur n'alimente pas une charge inductive à $\cos \varphi = 0,8$ AR, le critère de dimensionnement en puissance n'est plus fixé par la valeur de la puissance apparente nominale. Dans le cas particulier d'une charge informatique (DPF voisin de 1) le dimensionnement est fait par rapport à la puissance active consommée par la charge, celle-ci ne devant pas dépasser le produit de la puissance apparente nominale par un coefficient de déclassement fourni par le constructeur. Dans le cas présent, celui-ci vaut 0,8, c'est à dire que la puissance active maximale disponible est de : $300 \times 0,8 = 240$ kW.

Pour évaluer la charge totale, des mesures ont été réalisées en aval du système.

Le courant à prendre en compte est la somme des courants en sortie de ces onduleurs.

4 Mesures effectuées

Les relevés des formes d'ondes de tension et de courants des trois phases ont été effectués sur :

- Le départ amont de l'onduleur n° 1
- Le départ amont de l'onduleur n° 2
- Le départ amont de l'onduleur n° 3
- la sortie utilisation onduleur n°1
- la sortie utilisation onduleur n°2
- la sortie utilisation onduleur n°3
- Le départ alimentation informatique
- Le départ alimentation bureautique

Les résultats sont présentés en annexe sous la forme suivante :

- ✓ Formes d'ondes de tension et de courant
- ✓ Analyse spectrale des tensions et des courants
- ✓ Valeurs efficaces de tensions et de courants, puissances apparentes, actives, réactives et déformantes, facteur de puissance, facteur de déplacement ($\cos \varphi$), taux de distorsion harmoniques en tensions et en courants.

La simulation permettant d'obtenir le niveau de charge total est présentée, sous la même forme, à la suite des mesures dont elle est issue.

5 Analyse et interprétation des mesures

5.1 Vérification de la contrainte en courant crête

Le courant nominal d'un onduleur de 300 kVA sous 400 V est de 433 A par phase. Pour le système d'onduleurs étudié ici, le courant nominal est donc de 866 A avec un facteur de crête nominal de 2,33, soit 2018 A crête.

Sur l'installation, la nature des charges induit un facteur de crête plus important. Le courant maximal admissible est donc de 2018 A / Facteur crête installation. Le tableau suivant résume les principaux résultats pour la réserve disponible en courant

	Facteur de crête	Courant (A)	Courant maxi admissible (A)	Réserve disponible (A)
Phase 1	2.40	338.66	840	501.34
Phase 2	2.46	276.12	819.6	543.52
Phase 3	2.458	285.12	821	535.87

5.2 Vérification de la contrainte en puissance active

Un onduleur alimentant une charge ayant un $\cos \varphi$ différent de 0,8 doit être dimensionné en puissance active maximale disponible. Pour des charges de type informatique ($\cos \varphi$ unitaire ; voir forme d'onde en sortie des onduleurs), la puissance active disponible vaut donc $P_n = 0.8 \times S_n$, avec $S_n = 300$ kVA soit 240 kW par onduleur.

Nous résumons dans le tableau suivant les principaux résultats issus des mesures effectuées en aval du système onduleur :

	Tension (V)	Courant (A)	Puissance apparente (kVA)	Puissance active (kW)	Facteur de puissance	Facteur de déplacement (cos Φ fondamental)	Facteur de crête
Phase 1	230.636	338.660	78.11	65.20	0.835	0.994	2.402
Phase 2	230.890	276.122	63.75	52.51	0.824	0.993	2.462
Phase 3	230.821	285.127	65.81	54.75	0.832	0.995	2.458
Neutre		401.958					
Total			207.7	172.5			

La Puissance ondulée installée est de 3 x 300 kVA avec une redondance de type n+1, c'est à dire que 1 onduleur parmi 3 peut s'arrêter sans mettre en péril la charge. Pour assurer cette redondance, la puissance consommée ne doit donc pas dépasser les 2/3 de la puissance totale installée, soit 600 kVA. En appliquant le coefficient de déclassement de 0,8, la puissance active disponible est de 600 x 0,8 = 480 kW. La puissance consommée actuellement est de 172,5 kW. Le taux d'utilisation est donc de 172,5 / 480 soit 35,9 %.

La réserve de puissance active est donnée dans le tableau suivant, par phase et au total :

	Puissance disponible (kW)	Puissance active consommée (kW)	Réserve disponible (kW)
Phase 1	160	65.20	94.80
Phase 2	160	52.51	107.49
Phase 3	160	54.75	105.25
Total	480	172.5	307.5

Le système onduleurs n'est donc chargé qu'à 35,9 % en puissance active, et à 34,62 % en puissance apparente.

5.3 Impact de la pollution harmonique en aval du système d'onduleurs

Malgré une contribution harmonique en courant de plus de 50 % par phase, la distorsion en tension en aval des onduleurs reste très faible (au maximum de 2,3%). La pollution harmonique des deux départs mesurés, bureautique et informatique, ne dégrade donc que très peu la tension d'alimentation. Par contre, le conducteur de neutre subit le passage d'un courant d'une valeur de 400 A. Toutefois, la section du PEN en aval est de 2 x 120 mm². Le câble ne subit donc pas d'échauffement néfaste.

6 Conclusions

Au regard des contraintes en courant crête et en puissance active, dans l'état de charge actuel, la redondance des onduleurs est assurée, selon le principe de mise en parallèle avec n+1 appareils. La réserve d'énergie disponible pour alimenter des charges supplémentaires de même nature, c'est à dire dans l'hypothèse vraisemblable où facteurs de crête, facteurs de puissance et déphasages restent voisins des valeurs relevées ce jour, est de :

- 94,80 kW pour la phase 1
- 107,49 kW pour la phase 2
- 105,25 kW pour la phase 3

Dans l'éventualité où les écrans des postes informatiques seraient basculés du réseau normal vers le réseau secouru, la charge supplémentaire vue pour chacune des phases doit être estimée de la façon suivante :

Nombre d'écrans total à basculer : 800.

Soit $800/3 = 267$ écrans/phase.

Un écran absorbe 1,2 A à facteur de puissance 0,75, soit $230 \times 1,2 \times 0,75 = 0.207$ kW.

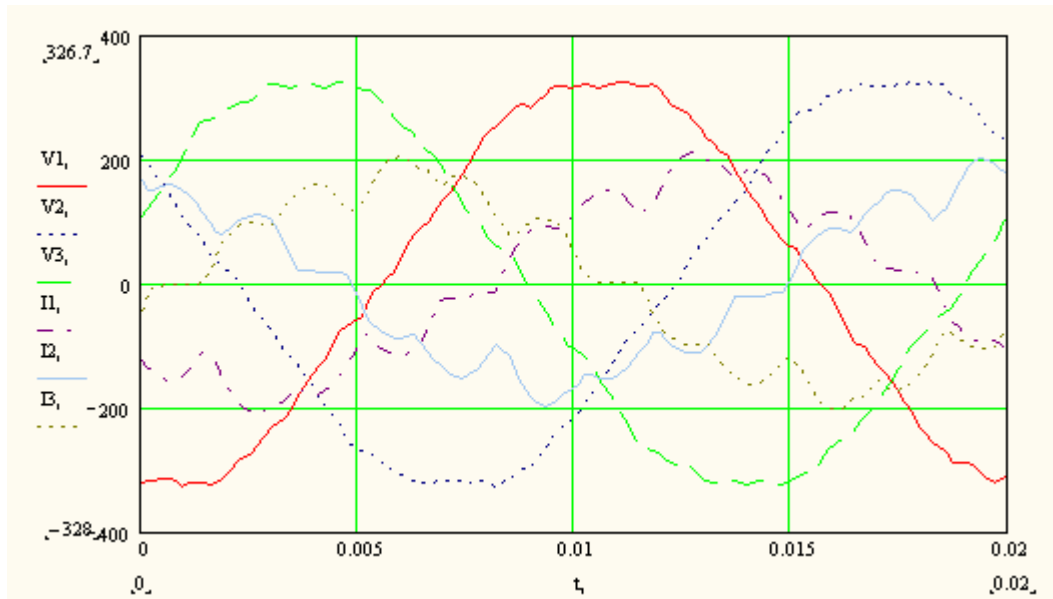
Puissance active totale absorbée par phase : $0,207 \times 267 = 55,2$ kW.

Si les chiffres communiqués et utilisés ci-dessus sont exacts, il sera donc possible de basculer les écrans des postes informatiques du réseau normal vers le réseau secouru. De nouvelles mesures seront alors envisageables pour déterminer la nouvelle réserve de puissance réelle disponible. Nous vous recommandons, lors du basculement, de bien veiller à bien équilibrer les phases, de façon à ne pas pénaliser les onduleurs.

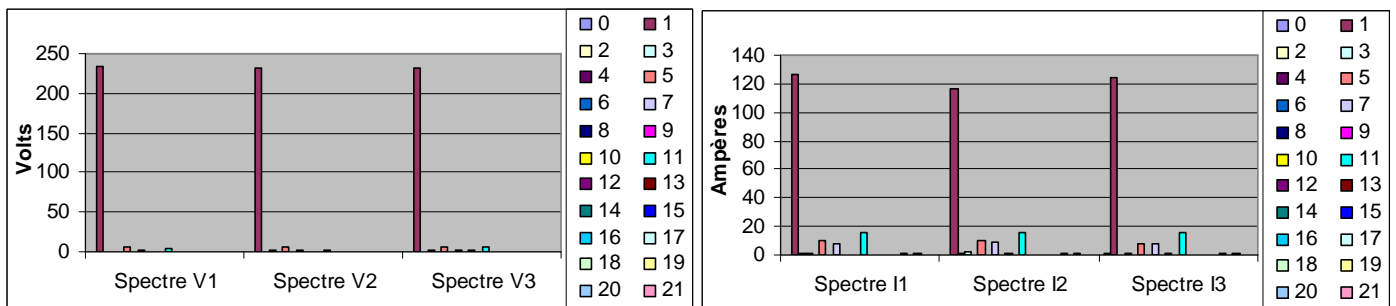
De plus, au regard de la pollution harmonique, il sera nécessaire de surveiller l'échauffement du conducteur PEN afin d'être sûr de limiter sa contrainte thermique à des valeurs restant admissibles.

Annexes

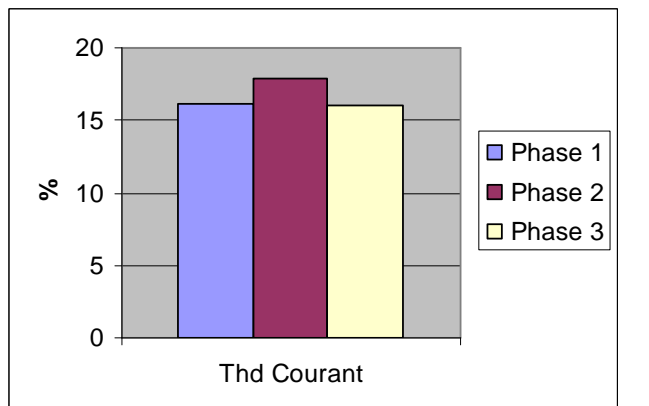
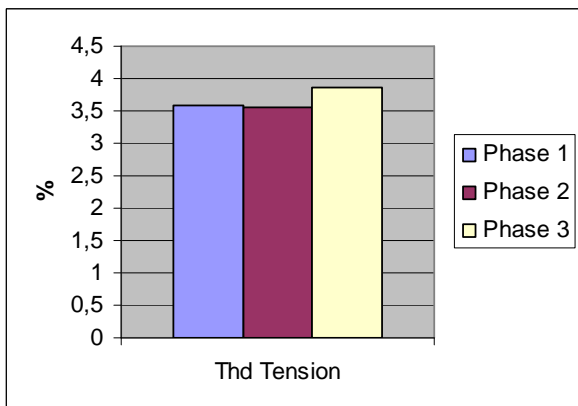
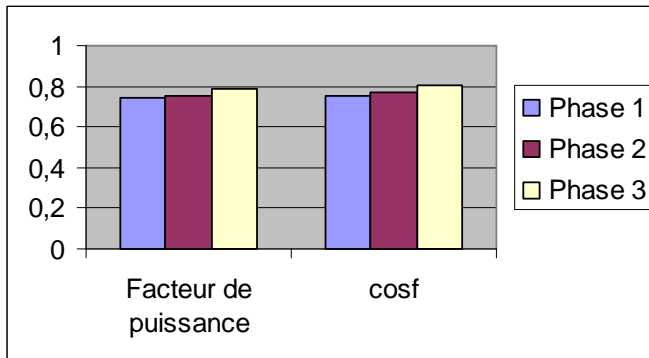
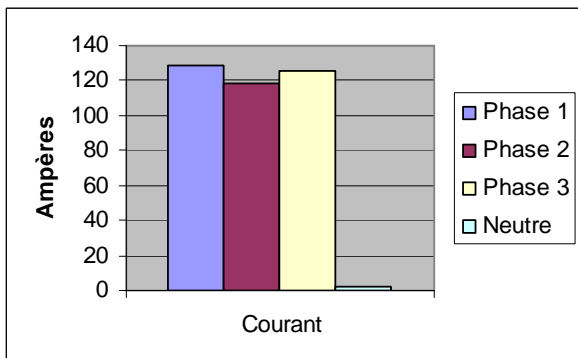
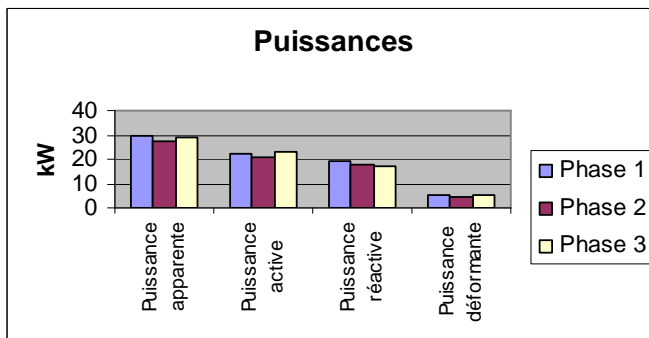
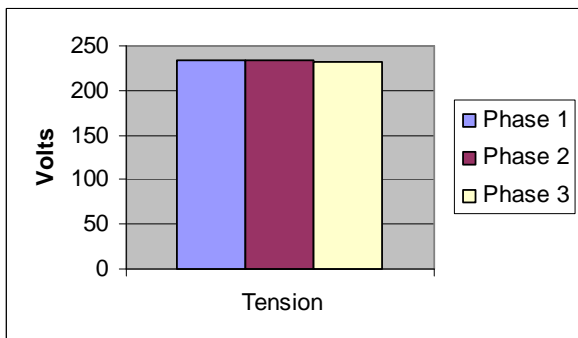
AMONT ONDULEUR 1



Formes d'ondes en amont de l'onduleur 1

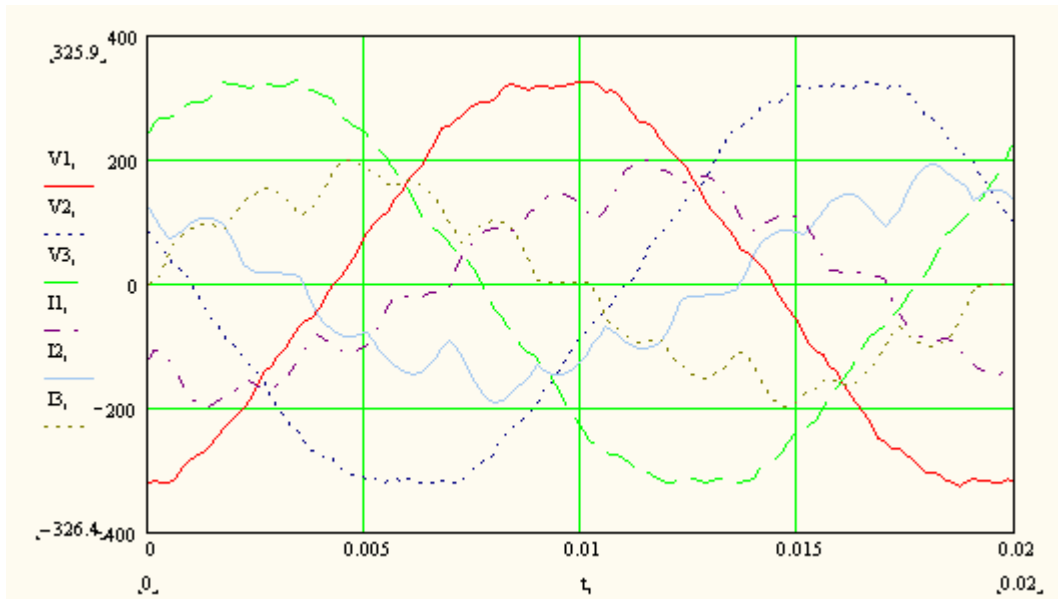


Spectres en amont de l'onduleur 1

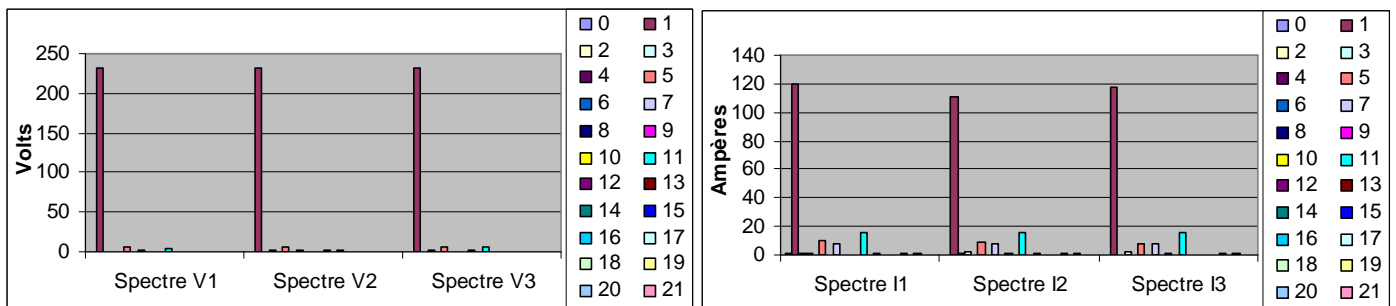


Caractéristiques en amont de l'onduleur 1

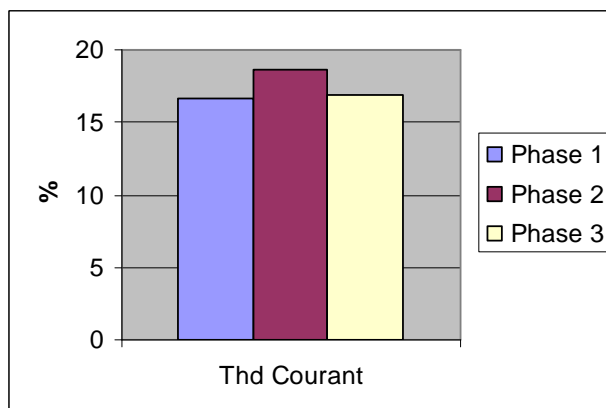
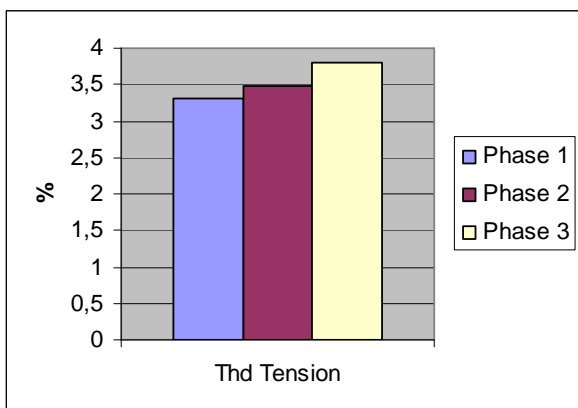
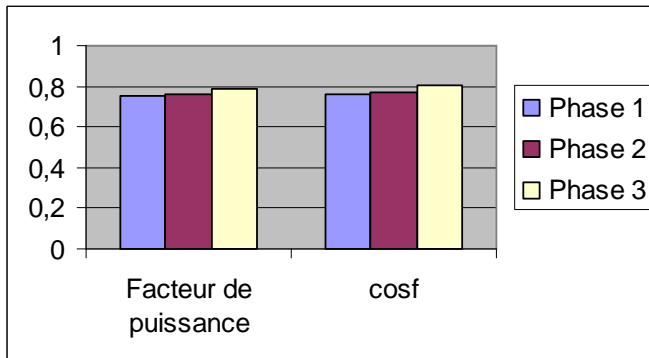
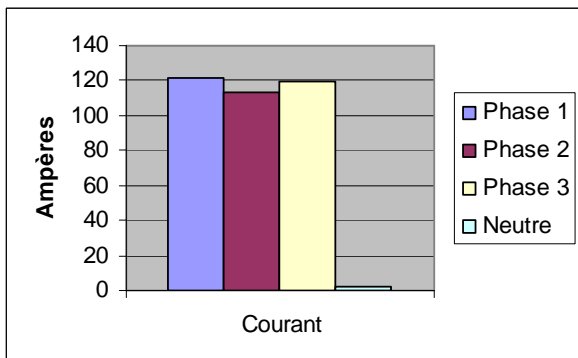
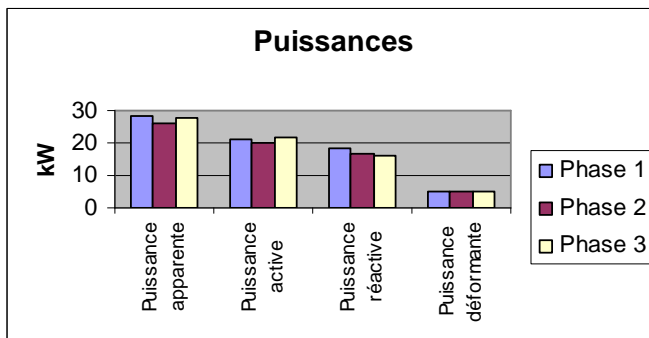
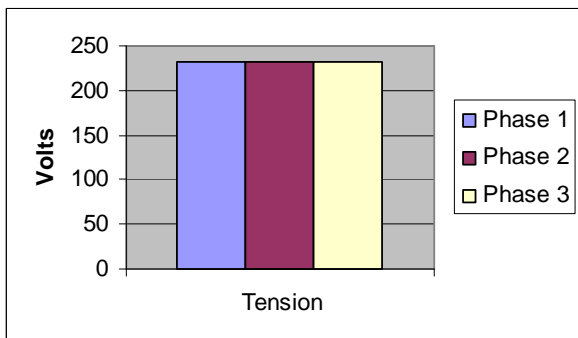
AMONT ONDULEUR 2



Formes d'ondes en amont de l'onduleur 2

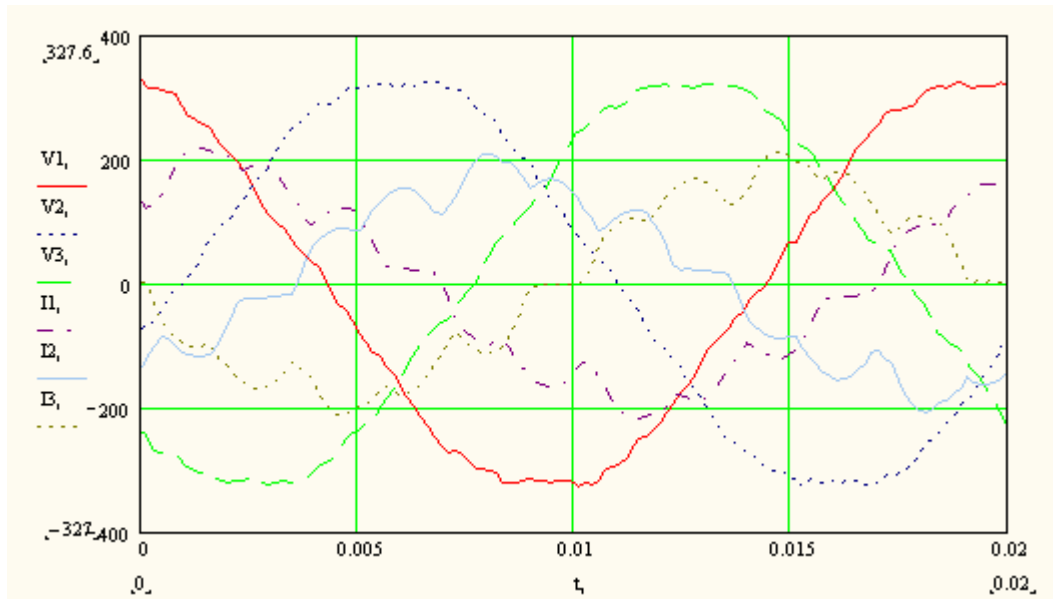


Spectres en amont de l'onduleur 2

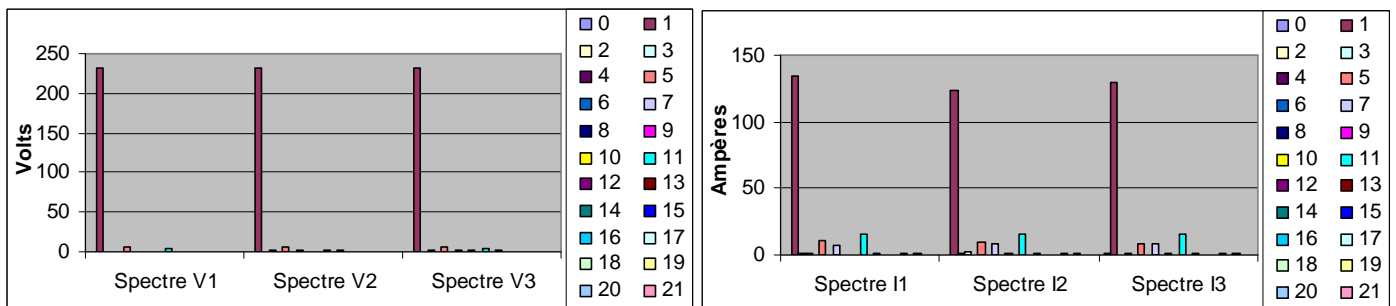


Caractéristiques en amont de l'onduleur 2

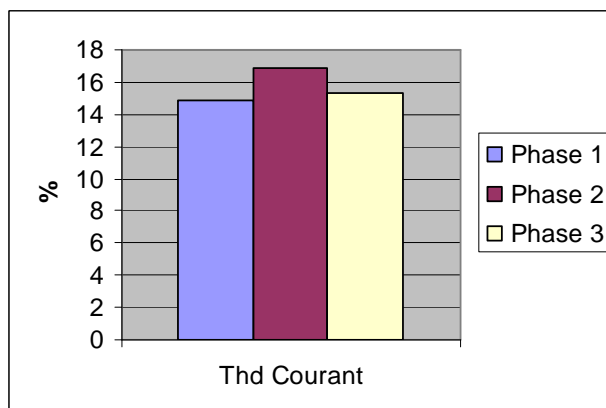
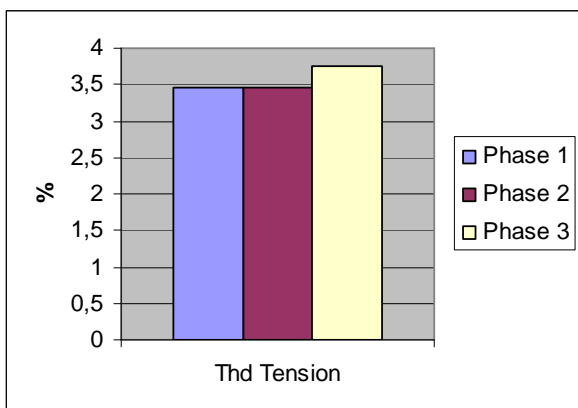
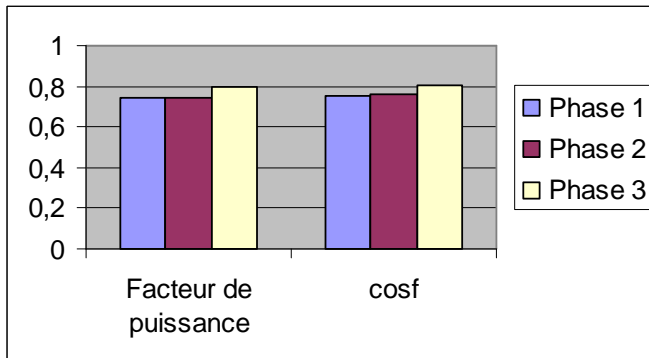
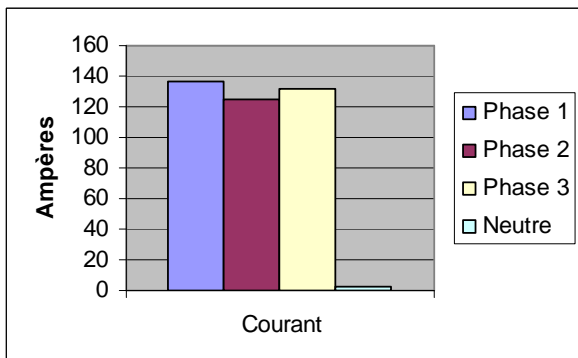
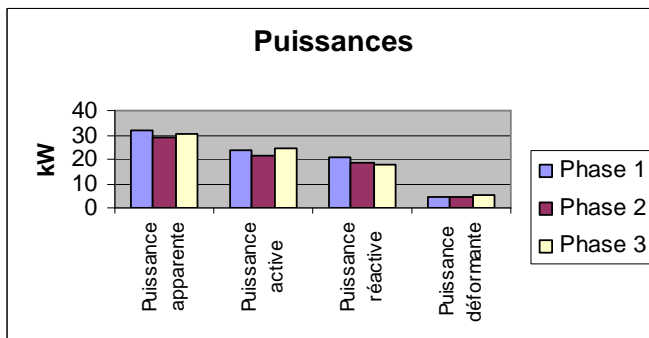
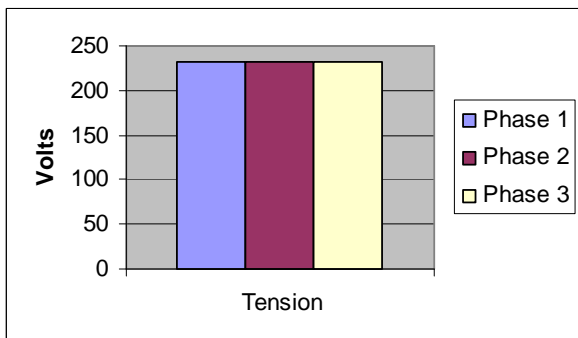
AMONT ONDULEUR 3



Formes d'ondes en amont de l'onduleur 3

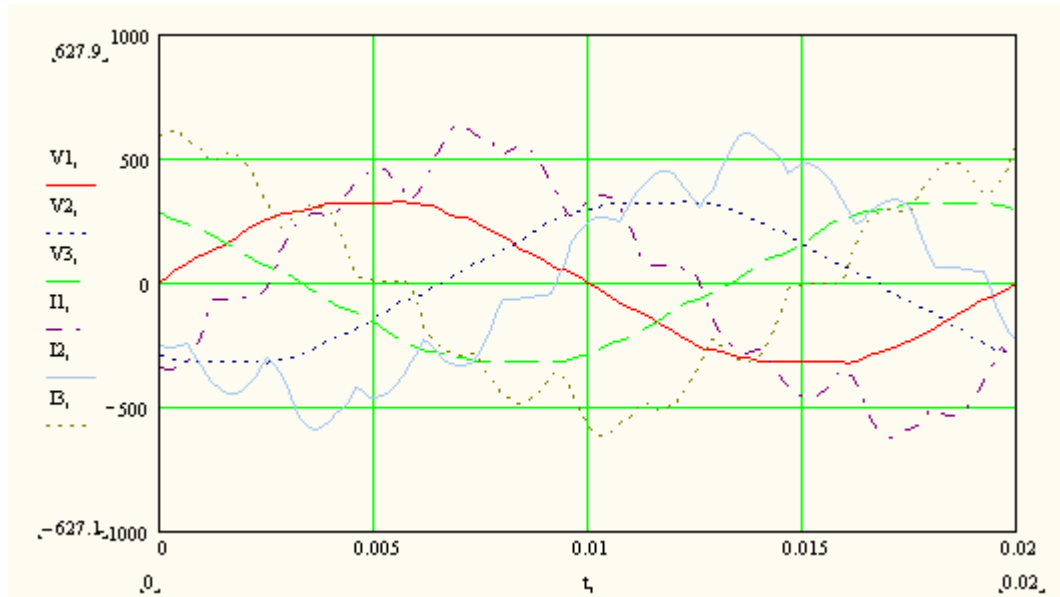


Spectres en amont de l'onduleur 3

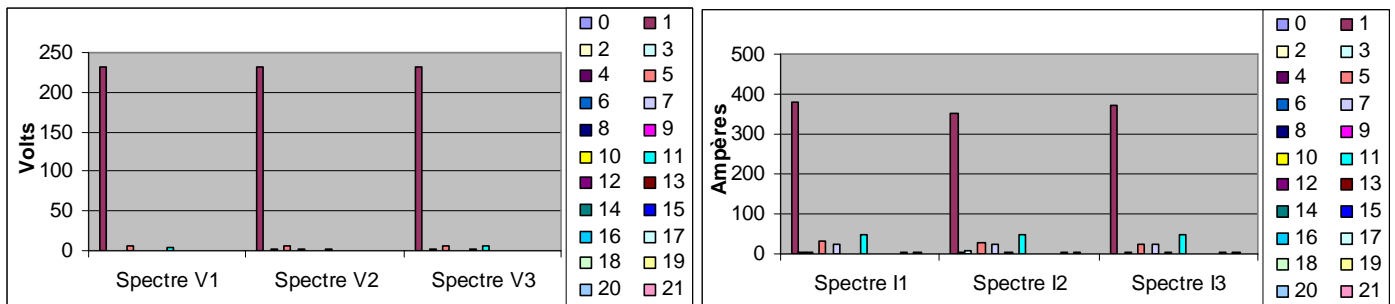


Caractéristiques en amont de l'onduleur 3

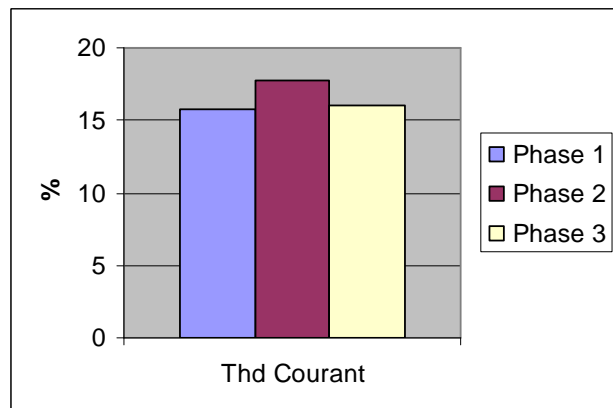
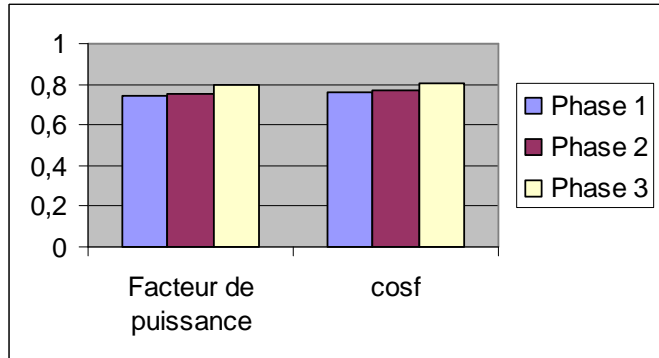
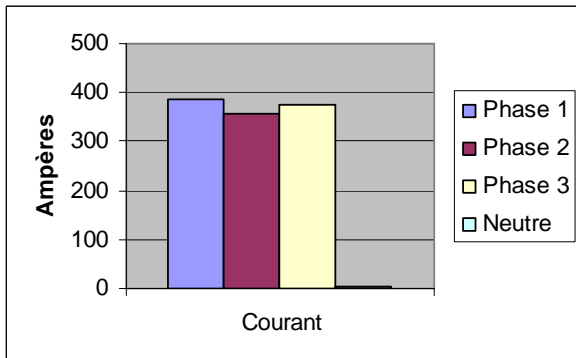
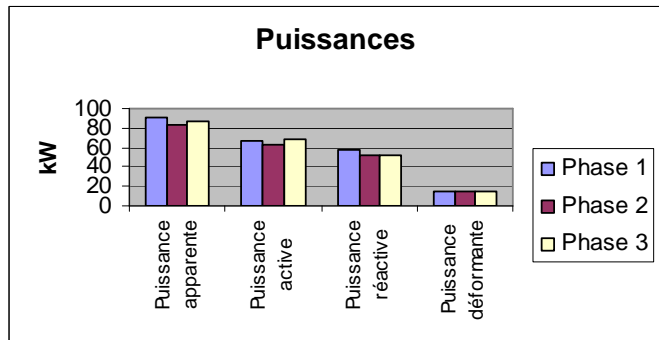
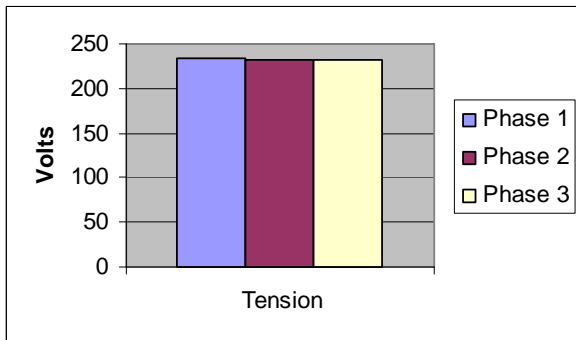
AMONT SYSTEME ONDULEURS



Formes d'ondes simulées en amont du système d'onduleurs

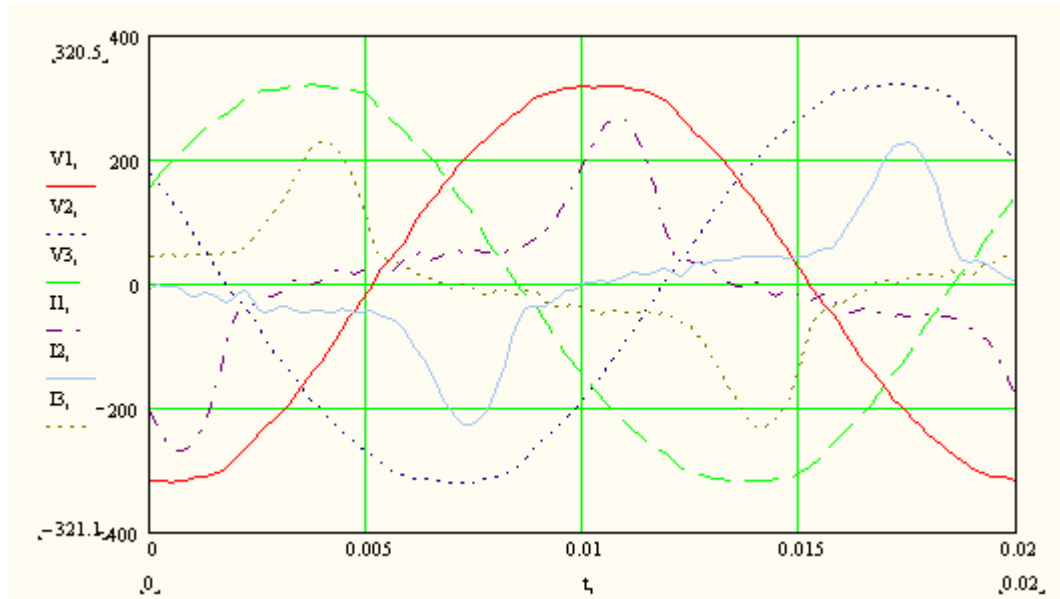


Spectres simulés en amont du système d'onduleurs

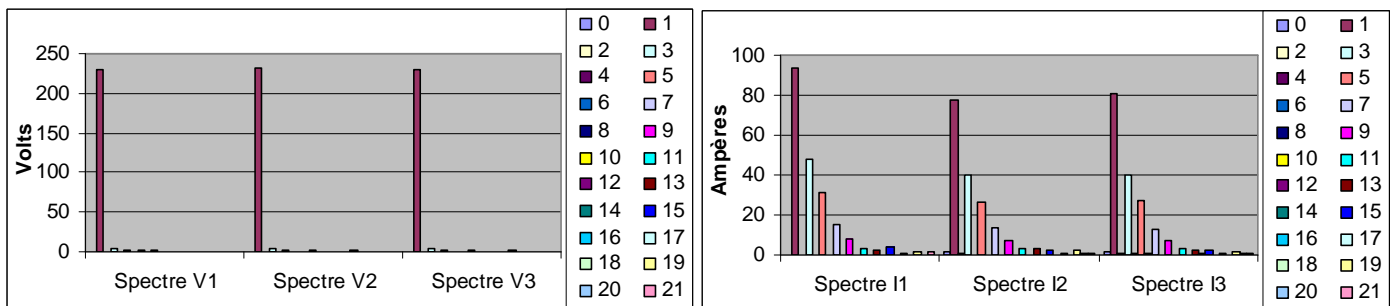


Caractéristiques simulées en amont du système d'onduleurs

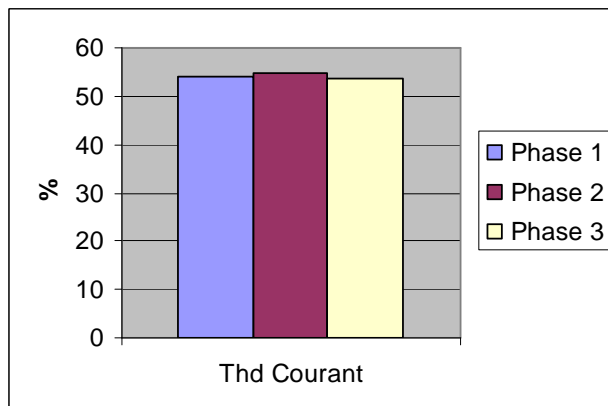
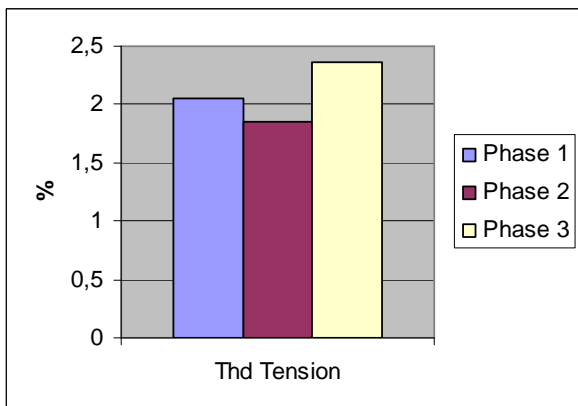
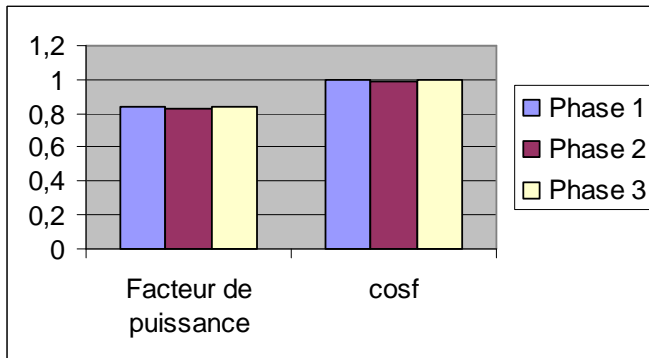
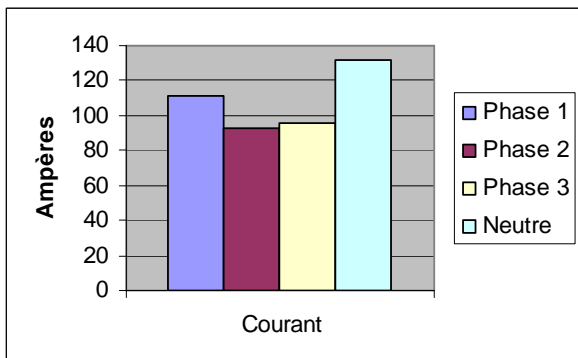
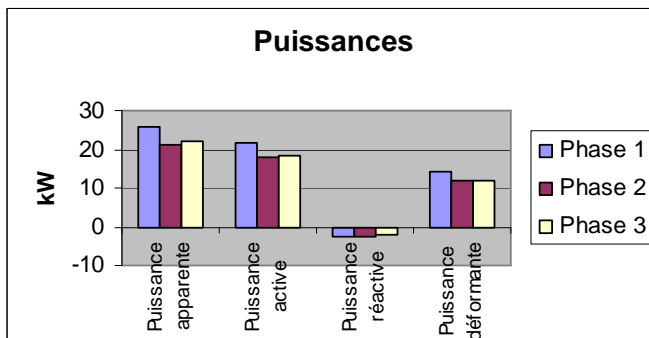
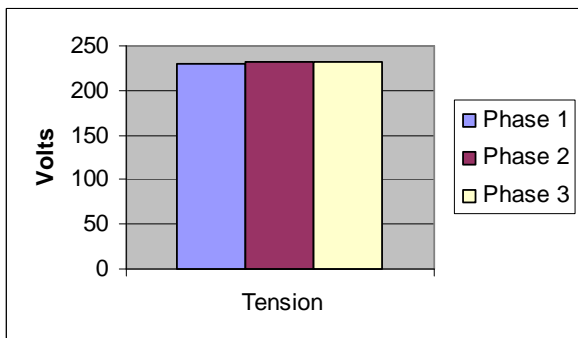
AVAL ONDULEUR 1



Formes d'ondes en aval de l'onduleur 1

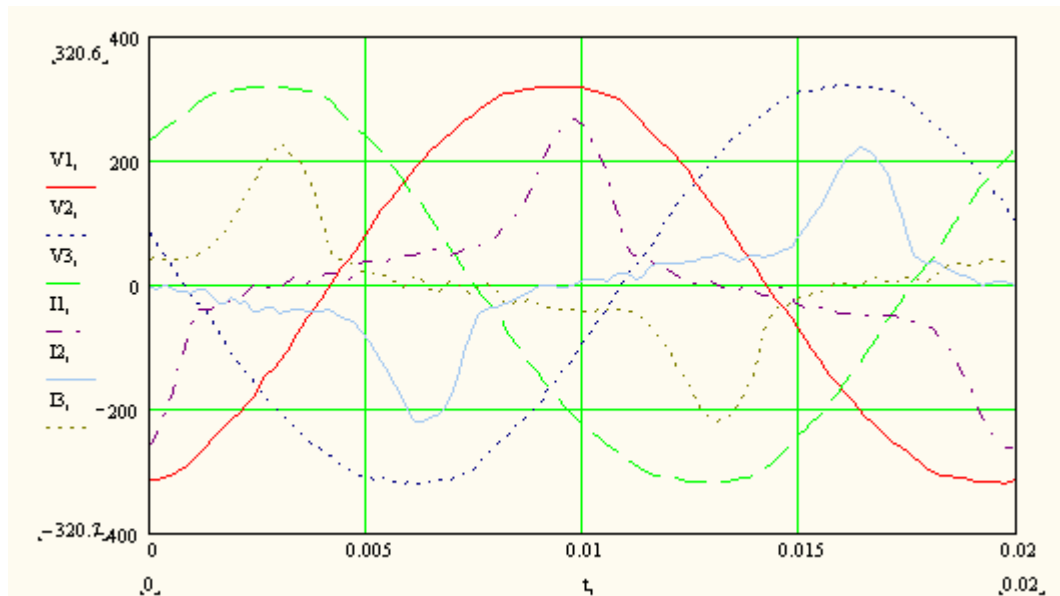


Spectres en aval de l'onduleur 1

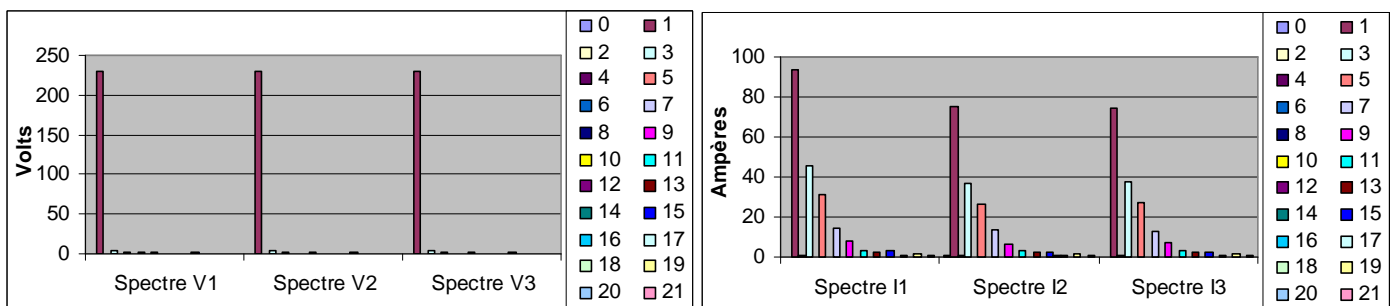


Caractéristiques en aval de l'onduleur 1

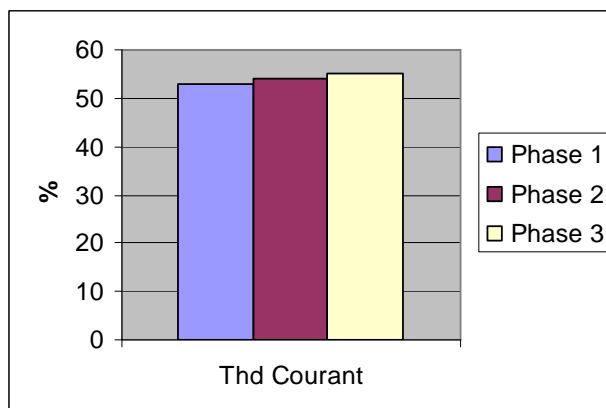
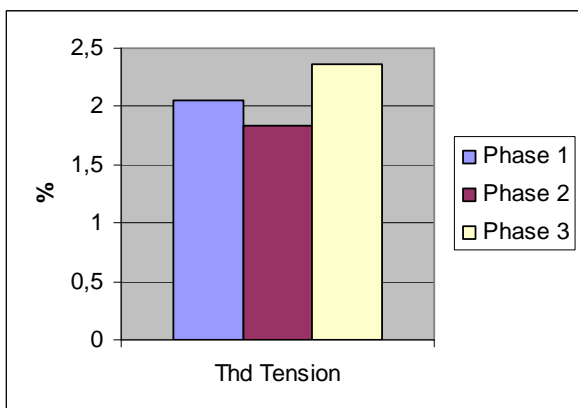
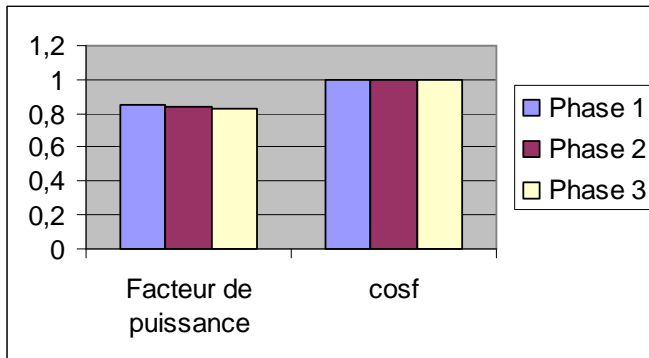
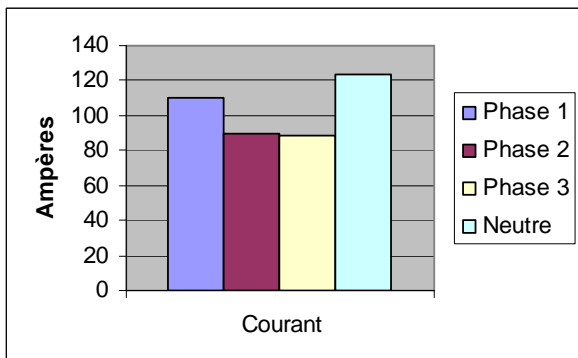
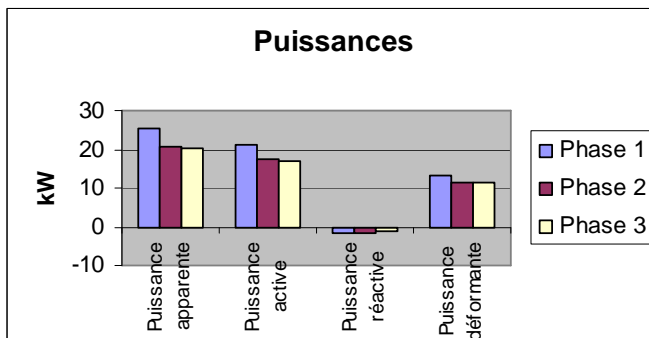
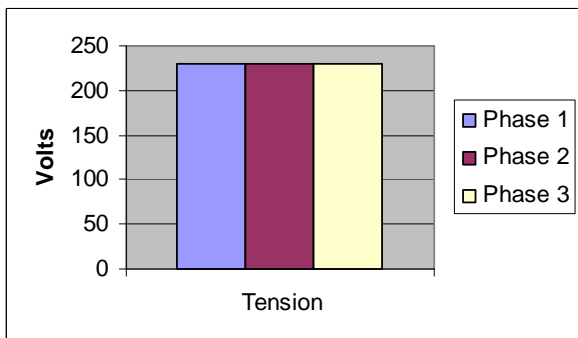
AVAL ONDULEUR 2



Formes d'ondes en aval de l'onduleur 2

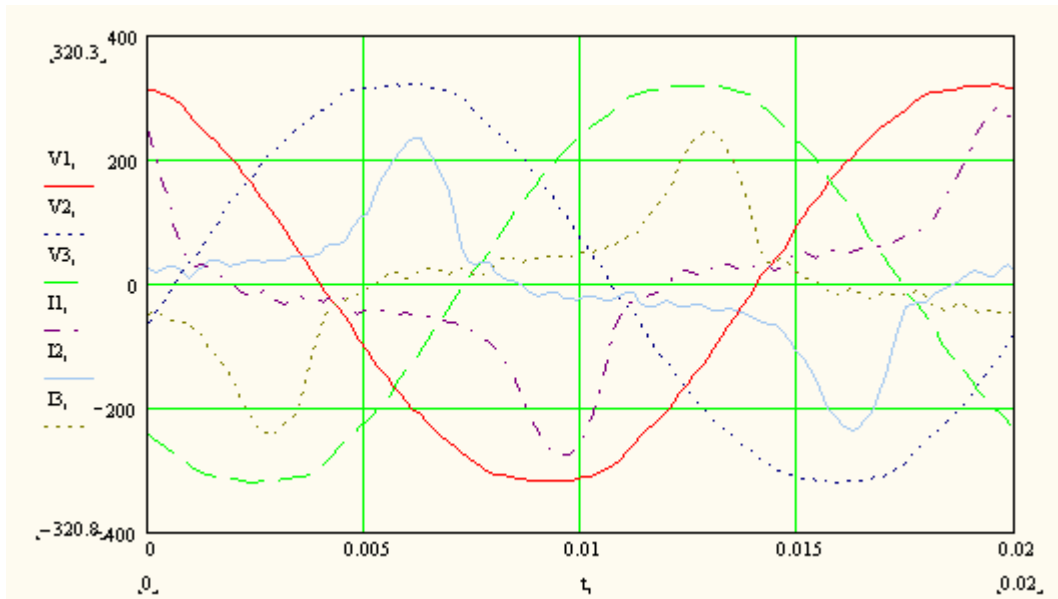


Spectres en aval de l'onduleur 2

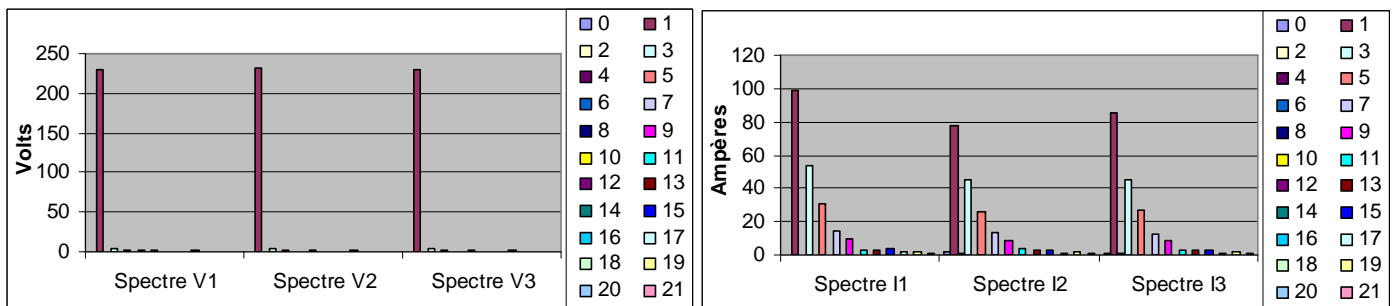


Caractéristiques en aval de l'onduleur 2

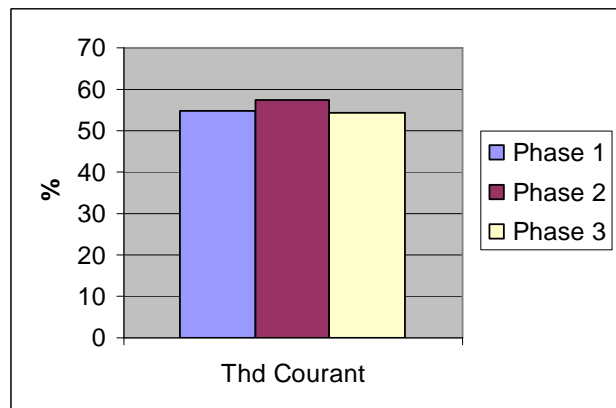
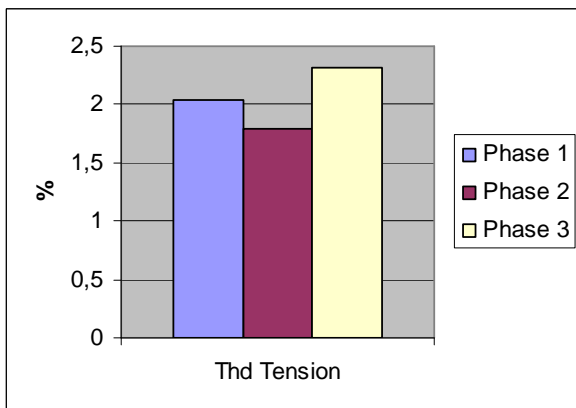
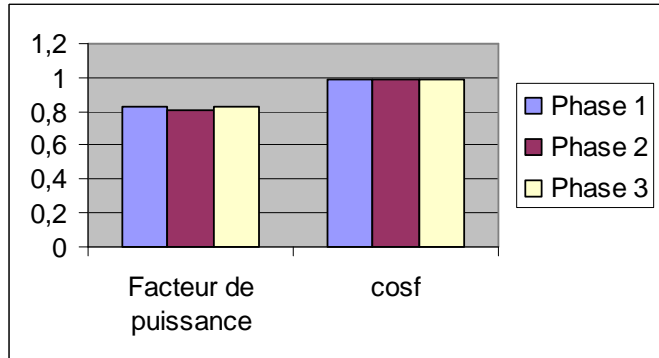
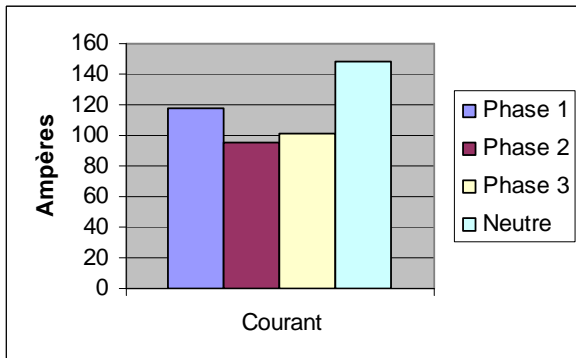
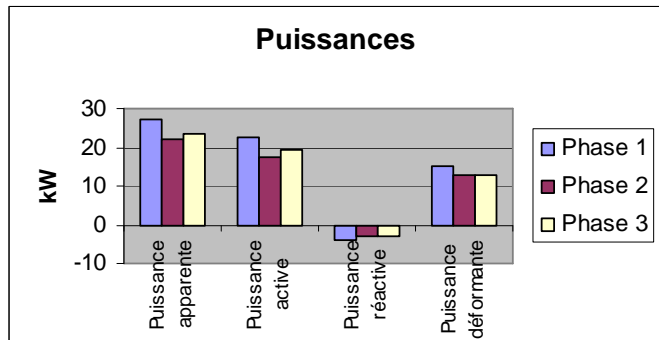
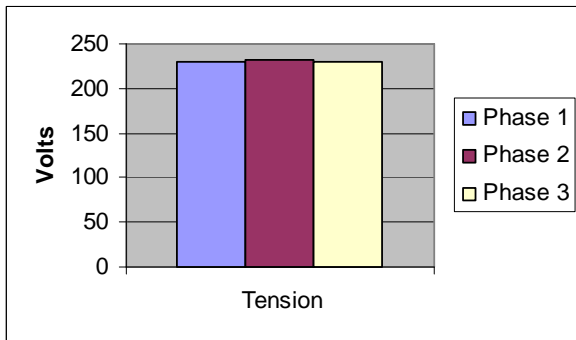
AVAL ONDULEUR 3



Formes d'ondes en aval de l'onduleur 3

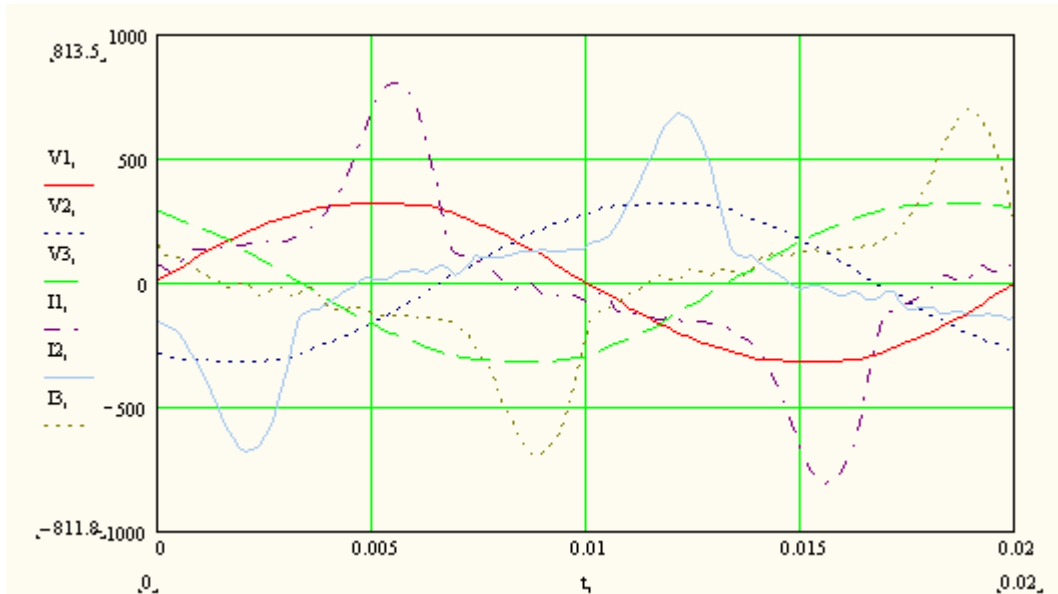


Spectres en aval de l'onduleur 3

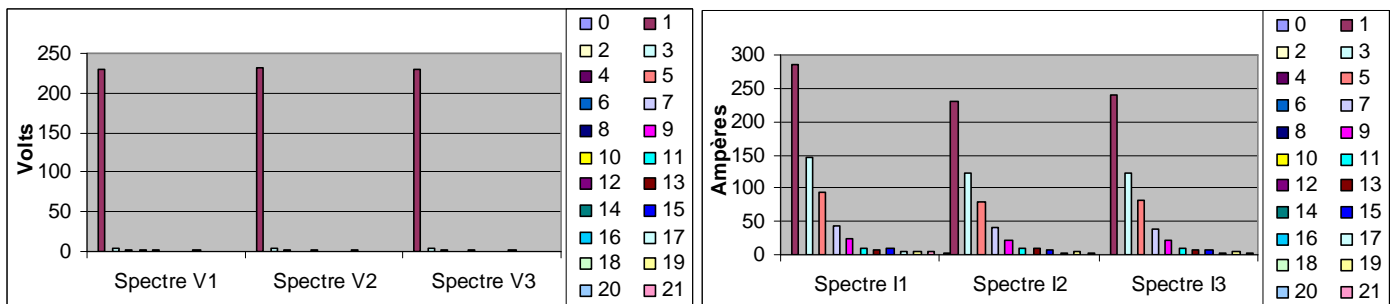


Caractéristiques en aval de l'onduleur 3

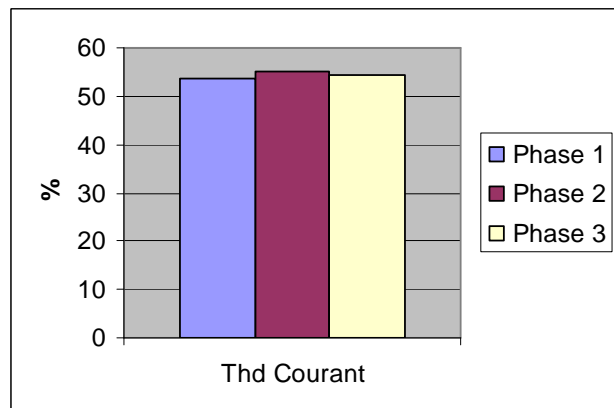
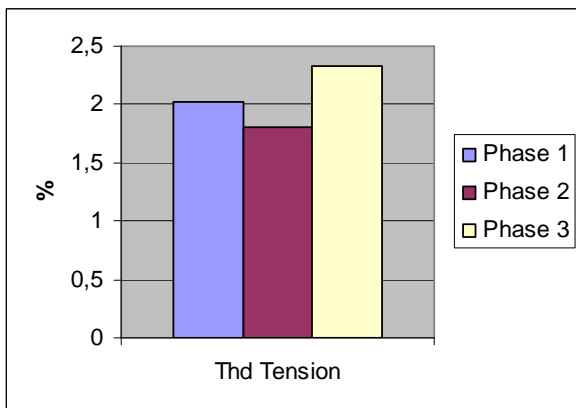
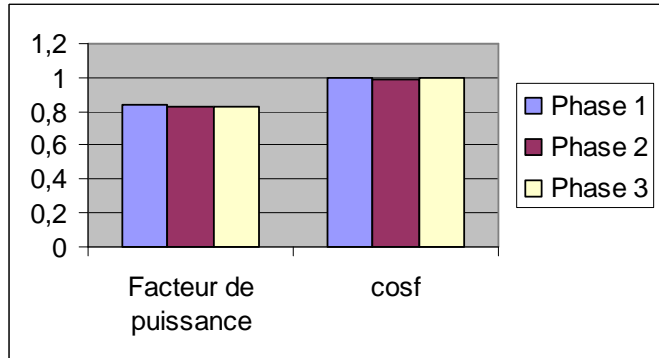
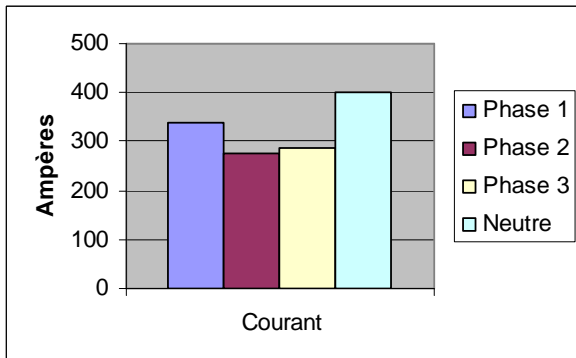
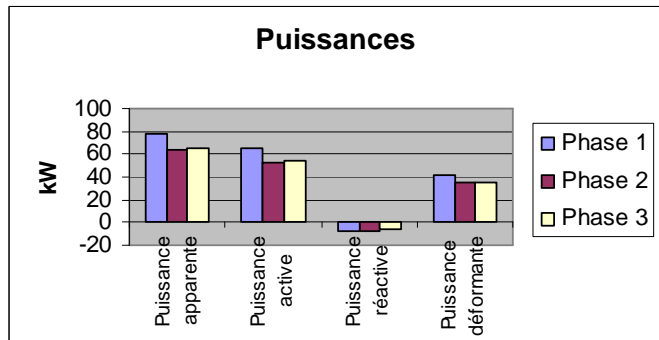
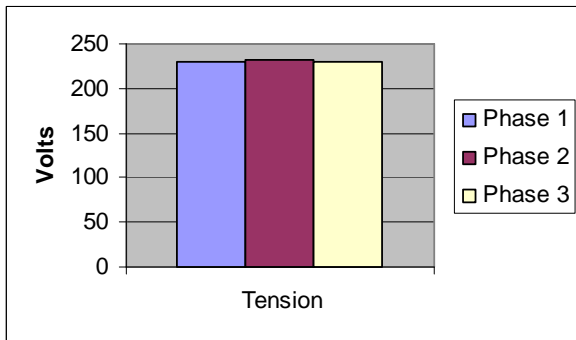
AVAL SYSTEME ONDULEURS



Formes d'ondes simulées en aval du système d'onduleurs

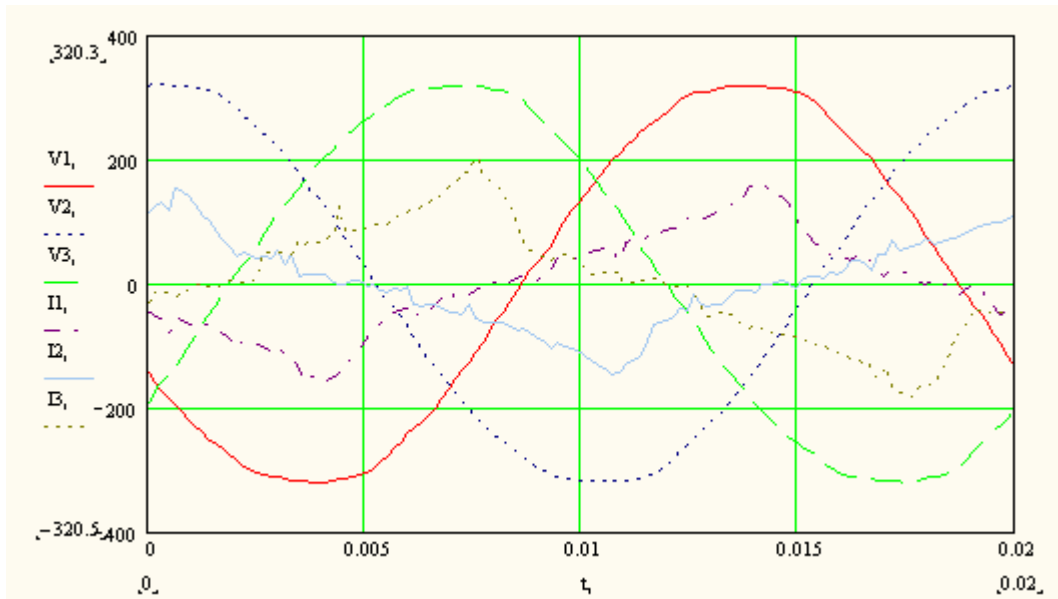


Spectres simulés en aval du système d'onduleurs

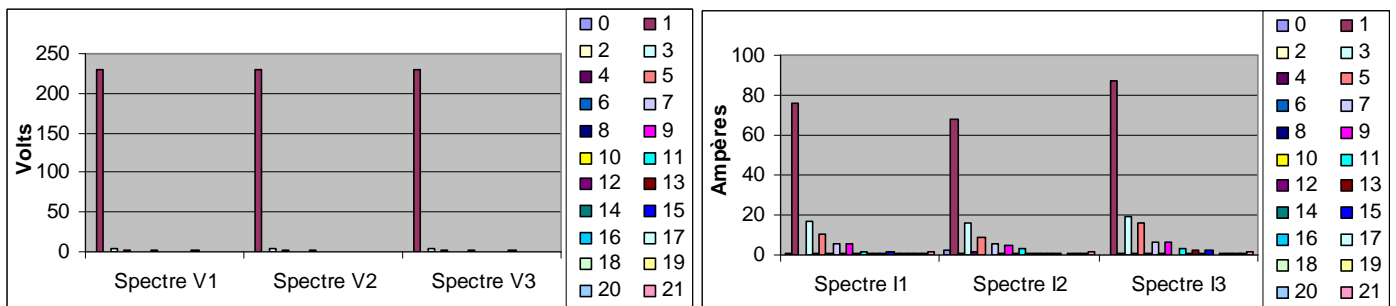


Caractéristiques simulées en aval du système d'onduleurs

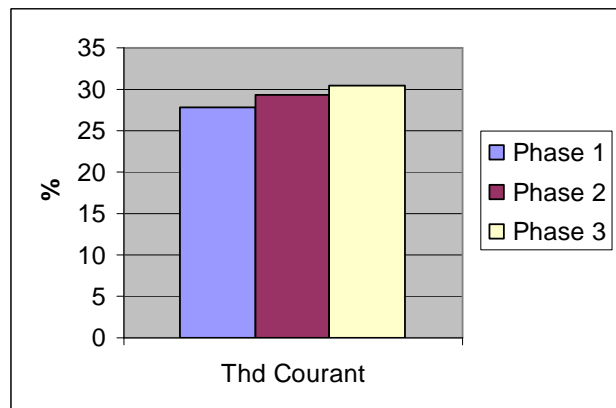
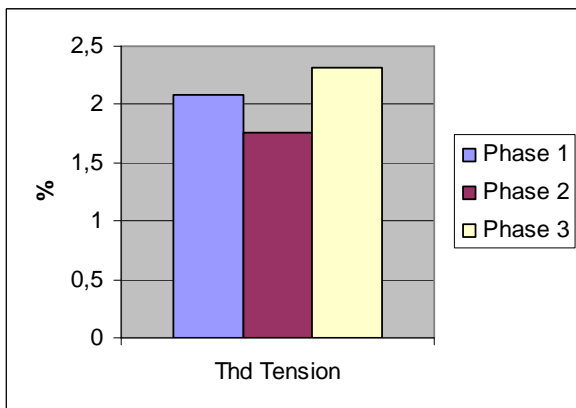
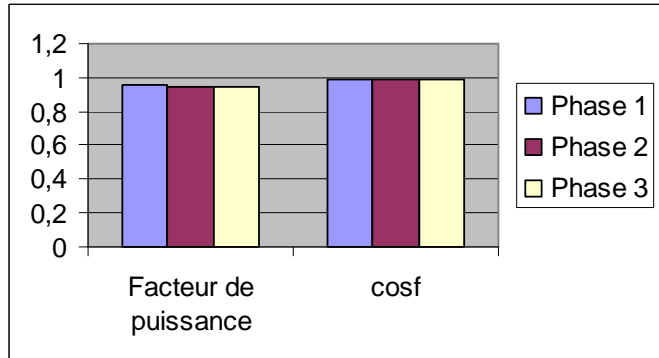
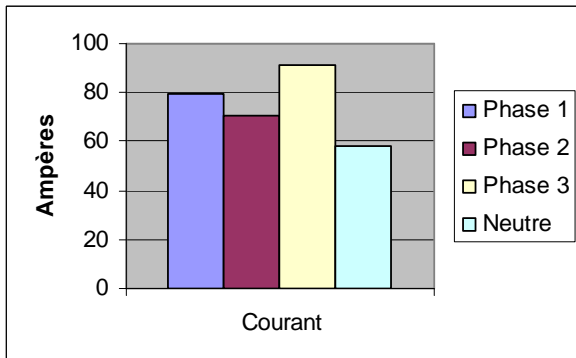
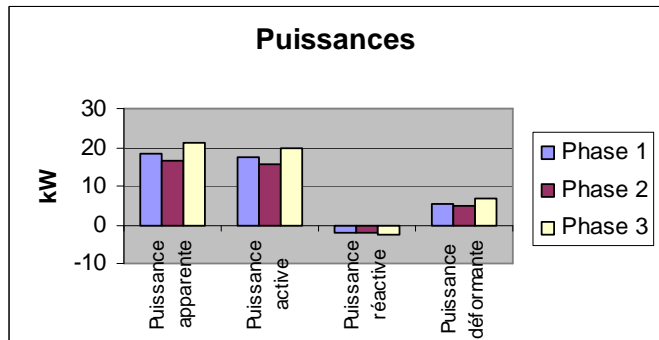
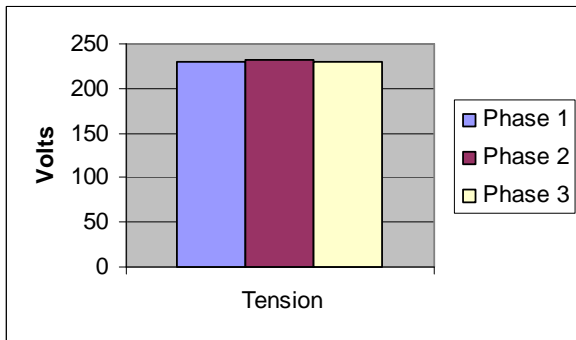
DEPART INFORMATIQUE



Formes d'ondes départ informatique

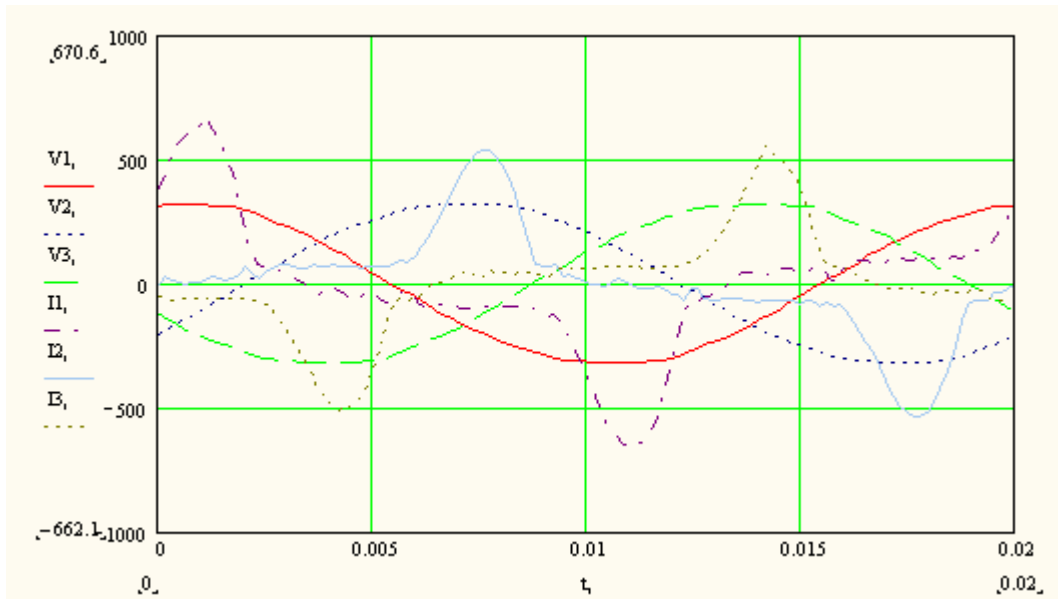


Spectres départ informatique

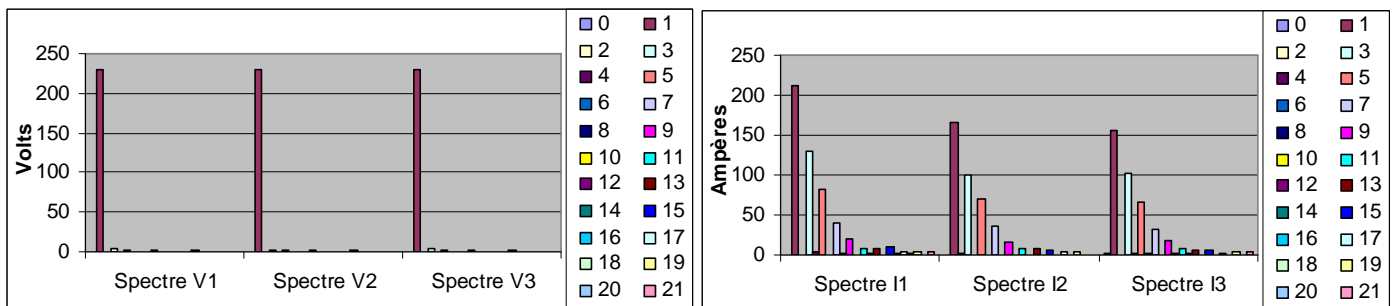


Caractéristiques départ informatique

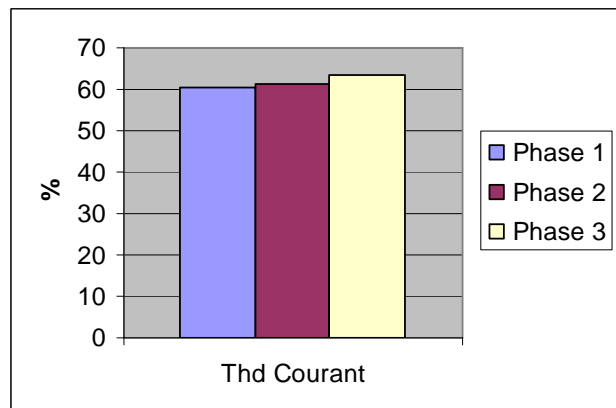
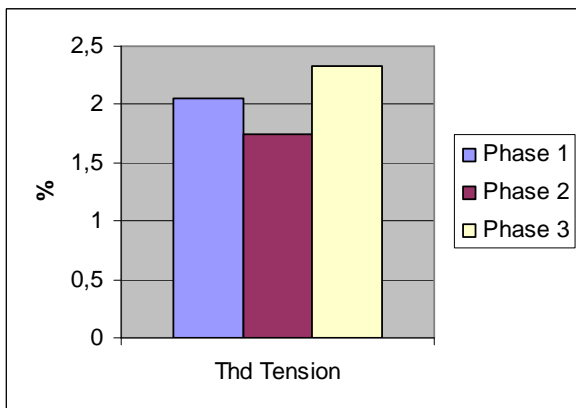
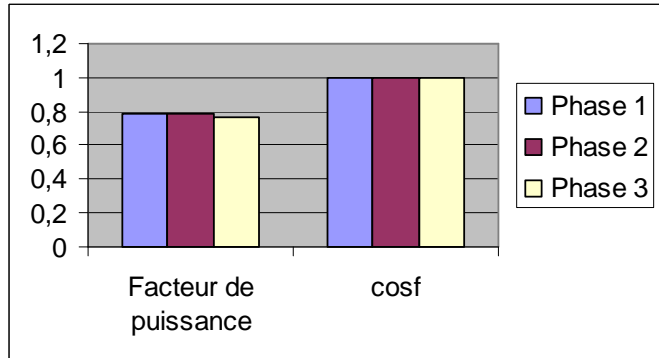
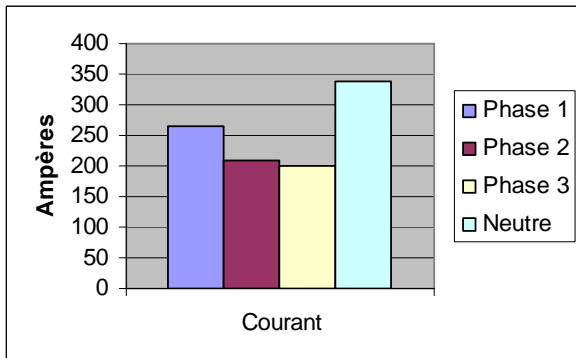
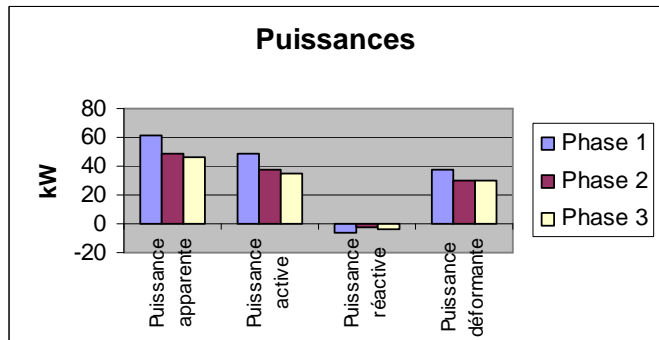
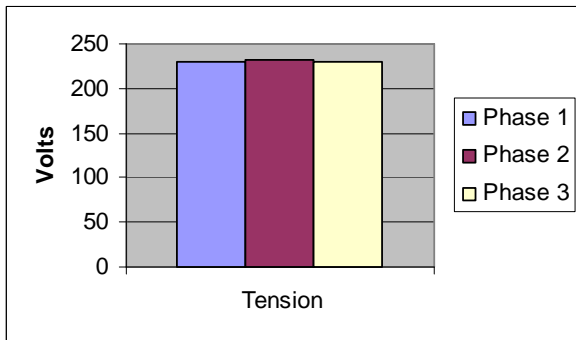
DEPART BUREAUTIQUE



Formes d'ondes départ bureautique



Spectres départ bureautique



Caractéristiques départ bureau